

POTENCIAL DO SISTEMA DIESEL ELÉTRICO PARA A REDUÇÃO DO  
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL EM EMBARCAÇÕES DE PESCA: UM  
ESTUDO DE CASO DO CONSUMO DE ENERGIA DA FROTA DE ESPINHEL DE  
FUNDO DO RIO DE JANEIRO

Ricardo Fagundes Bastos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Planejamento Energético,  
COPPE, da Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, como parte dos requisitos necessários à  
obtenção do título de Doutor em Planejamento  
Energético.

Orientadores: David Alves Castelo Branco  
Maurício Cardoso Arouca

Rio de Janeiro  
Março de 2019

POTENCIAL DO SISTEMA DIESEL ELÉTRICO PARA A REDUÇÃO DO  
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL EM EMBARCAÇÕES DE PESCA: UM  
ESTUDO DE CASO DO CONSUMO DE ENERGIA DA FROTA DE ESPINHEL DE  
FUNDO DO RIO DE JANEIRO

Ricardo Fagundes Bastos

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGETICO.

Examinada por:

---

Prof. David Alves Castelo Branco, Ph.D.

---

Prof. Maurício Cardoso Arouca, D.Sc.

---

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, D.Sc.

---

Prof. Luiz Antônio Vaz Pinto, D.Sc.

---

Prof. Bruno Soares Moreira Cesar Borba, D.Sc .

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2019

Bastos, Ricardo Fagundes

Potencial do sistema diesel elétrico para a redução do consumo de combustível fóssil em embarcações de pesca: Um estudo de caso do consumo de energia da frota de espinhel de fundo do Rio de Janeiro / Ricardo Fagundes Bastos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XVII, 172 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: David Alves Castelo Branco

Maurício Cardoso Arouca

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2019.

Referencias Bibliográficas: p. 152 - 161.

1. Consumo Combustível Fóssil. 2. Pesca de Espinhel de Fundo. 3. Sistema Diesel Elétrico. 4. Redução de Emissões. I. Branco, David Alves Castelo *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, e a alta força vibratória e energia positiva emanada por Oxalá, que juntamente com os outros Orixás, sempre auxiliaram no cuidado do equilíbrio energético, físico e emocional de meu corpo físico, especialmente no difícil período de desenvolvimento deste estudo.

Agradeço ao meu querido avô Lídio, mais conhecido como “Lili”, que apesar de não estar mais presente neste plano terreno em que nós seres humanos habitamos, está sempre presente, como espírito de luz que é, em energia e vibração, me guiando e conduzindo para o caminho certo, dando força e coragem para vencer os obstáculos da vida.

Não poderia deixar de agradecer aos meus amigos que estiveram e/ou estão presentes em minha vida e acompanharam mais esta dura e longa jornada que foi cumprida com êxito. Em especial, a minha família, que tenho a sorte de conviver desde o dia do meu nascimento. Meu irmão Romero, que sempre esteve ao meu lado e tenho a certeza que sempre estará quando eu precisar e, principalmente meus pais, Ricardo e Edna, que me deram todo o auxílio material, financeiro, psicológico e emocional, pelas pessoas tão especiais e iluminadas que são. Sem o apoio e incentivo de vocês, principalmente nos momentos mais difíceis, nada teria acontecido.

Aos amigos que fiz no PPE, entre professores, funcionários e alunos, que também estiveram presente e me ajudaram e apoiaram neste intenso período acadêmico de conclusão do doutorado com muito estudo e dedicação.

Ao meu grande orientador David Branco por ter aceitado me orientar e por toda atenção, dedicação e apoio durante a execução desta tese.

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através do Programa de Recursos Humanos (PRH 21) pela ajuda financeira.

Enfim, agradeço a todos que tem uma parcela de contribuição nesta árdua, porem vitoriosa e de intenso aprendizado etapa de minha formação profissional.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

POTENCIAL DO SISTEMA DIESEL ELÉTRICO PARA A REDUÇÃO DO  
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL EM EMBARCAÇÕES DE PESCA: UM  
ESTUDO DE CASO DO CONSUMO DE ENERGIA DA FROTA DE ESPINHEL DE  
FUNDO DO RIO DE JANEIRO

Ricardo Fagundes Bastos

Março/2019

Orientadores: David Alves Castelo Branco

Maurício Cardoso Arouca

Programa: Planejamento Energético

Esta tese refere-se a um modelo de consumo de combustível e emissões de gases de efeito estufa (GEE) da frota de espinhel de fundo do Rio de Janeiro, Brasil com dados relativos às características das embarcações e seus motores, consumo de combustível, desembarques e duração da viagem de pesca de dezessete embarcações de espinhel que operam na costa do Rio de Janeiro entre 2015 e 2016. O perfil operacional desta frota foi analisado, com base em uma abordagem empírica para modelar a potência de propulsão exigida para um barco típico da frota de espinhel de fundo para os sistemas diesel e diesel elétrico, comparando-os quanto ao consumo de combustível e a emissão de GEE.

Os resultados da estimativa de potência requerida para o sistema diesel mostraram que os motores utilizados são muito mais potentes que o necessário, indicando um potencial de redução no consumo de combustível somente com a instalação de motores menores.

Entretanto, o perfil operacional observado na frota de espinhel indicou a possibilidade de redução no consumo de combustível fóssil com a utilização de propulsão diesel elétrica.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

POTENTIAL OF DIESEL ELECTRIC SYSTEM FOR FOSSIL FUEL  
SAVING IN FISHING VESSELS: A CASE STUDY ON ENERGY CONSUMPTION  
OF BOTTOM LONGLINE FLEET OF RIO DE JANEIRO

Ricardo Fagundes Bastos

March/2019

Advisors: David Alves Castelo Branco  
Maurício Cardoso Arouca

Department: Energy Planning

This thesis concerns a model of the fuel consumption and emissions from the bottom longline fishing fleet at Rio de Janeiro State, Brazil with data comprised vessel and engine characteristics, fuel consumption, landings and fishing trip duration of seventeen longliners operating in Rio de Janeiro between 2015 and 2016. The operational pattern was investigated for this fleet, based on an empirical approach to model the propulsion power requirements of the typical longliner fishing vessel, for diesel and electric diesel systems, comparing them in terms of fuel consumption and GHG emissions.

The results of estimated required power for the diesel system revealed that the engines used are much more powerful than necessary, indicating a potential reduction in fuel consumption only with the installation of smaller engines.

However, when the operational pattern evaluation is taken into account, it indicates the future potential for diesel-electric propulsion for longliner fishing vessels, as a result of a reduction in fuel consumption.

# Sumário

Índice de Figuras .....	xi
Índice de Tabelas .....	xiv
Lista de Siglas.....	xvi
1. Introdução .....	1
1.1 Considerações iniciais .....	1
1.2 Objetivos e metodologia aplicada.....	2
1.2.1 Objetivo Geral .....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Estrutura da tese.....	3
2. Definições e características da atividade pesqueira.....	7
2.1 Definição da atividade de pesca .....	7
2.2 Embarcações pesqueiras e modalidades de pesca .....	11
2.2.1 Classificação das principais artes de pesca.....	12
2.3 Consumo de energia na pesca.....	26
2.3.1 Panorama do consumo energético em embarcações pesqueiras.....	26
2.3.2 Indicadores utilizados na comparação do desempenho energético de diferentes modalidades de pesca .....	29
3. Histórico, conceitos e definições das tecnologias de propulsão de embarcações ....	38
3.1 Evolução histórica e panorama atual .....	38
3.2 Propulsão marítima: conceito e funcionamento .....	41
3.3 Definição dos principais sistemas propulsivos de embarcações .....	44
3.3.1 Sistemas a vapor .....	44
3.3.1.1 Máquinas alternativas .....	45
3.3.1.2 Turbinas a Vapor .....	45
3.3.2 Turbinas a gás.....	46
3.3.3 Sistema de propulsão diesel.....	47

3.3.4 Sistemas de propulsão elétrico e híbrido .....	48
3.3.4.1 Sistema de propulsão puramente elétrico .....	49
3.3.4.2 Sistema de propulsão diesel elétrico.....	49
3.3.4.3 Sistema de propulsão híbrido .....	52
3.3.4.3.1 Sistema híbrido em série .....	52
3.3.4.3.2 Sistema híbrido em paralelo .....	53
3.3.4.3.3 Sistema híbrido combinado série/paralelo.....	53
3.3.4.4 Vantagens e desvantagens da propulsão elétrica.....	54
3.3.5 Sistema de propulsão nuclear .....	58
3.3.6 Sistema de propulsão combinada .....	59
4. Avaliação do uso de energia na atividade pesqueira .....	61
4.1 Caracterização da frota pesqueira do Estado do Rio de Janeiro.....	61
4.2 Características da pesca de espinhel.....	72
4.3 Justificativa da escolha da pesca de espinhel de fundo .....	75
5 Estudo de caso do consumo de energia da frota de espinhel de fundo do Estado Rio de Janeiro.....	77
5.1 Perfil operacional da pesca de espinhel.....	77
5.2 Obtenção de dados – Pesquisa de campo .....	78
5.3 Métodos de estimativa do consumo de energia para propulsão por etapas de uma viagem de pesca.....	83
5.3.1 Método 1.....	83
5.3.2 Método 2.....	84
5.3.3 Método 3.....	84
5.3.4 Método 4.....	85
5.4 Medida do erro de estimação: Comparação entre os métodos de estimativa do consumo pelo erro percentual absoluto médio .....	86
5.5 Consumo energético do sistema de conservação do pescado.....	93



5.6 Análise e comparação da intensidade do uso de combustível da frota de espinhel de fundo.....	95
5.7 Emissões de GEE – Método do IPCC ‘Tier 1’ .....	98
6. Proposta de uso mais racional de energia em uma embarcação típica da frota de espinhel de fundo.....	100
6.1 Metodologia de seleção do motor e sistema propulsor de uma embarcação típica	101
6.1.1 Estimativa da resistência ao avanço .....	101
6.1.1.1 Método de Holtrop e Mennen.....	103
6.1.2 Seleção do propulsor por séries sistemáticas.....	108
6.1.2.1 Série Sistemática de Wageningen .....	109
6.1.2.2 Determinação dos parâmetros do hélice: diâmetro; cálculo do coeficiente de empuxo requerido e da eficiência.....	112
6.1.3 Cálculo da potência no propulsor e critério de cavitação .....	115
6.1.3.1 Critério de cavitação .....	115
6.1.4 Cálculo da potência total instalada e aplicação das margens de serviço .....	119
6.1.5 Balanço Elétrico .....	121
6.2 Resultados.....	121
6.2.1 Potência efetiva e potência de empuxo.....	122
6.2.2 Seleção do propulsor ótimo .....	123
6.2.3 Estimativa da demanda elétrica .....	130
6.2.4 Estimativa da potência total instalada utilizando o sistema diesel convencional	130
6.2.5 Estimativa da potência total instalada utilizando o sistema diesel elétrico .....	132
7. Estimativa e comparação do consumo de combustível e emissões de GEE dos diferentes sistemas de propulsão para uma embarcação típica da pesca de espinhel.	136
7.1 Sistema diesel .....	136
7.2 Sistema diesel elétrico .....	138
7.3 Comparação do consumo de energia dos diferentes sistemas de propulsão para uma embarcação típica de espinhel .....	141

7.3.1 Consumo equivalente de energia do sistema de conservação do pescado .....	143
7.4 Emissões .....	145
8. Considerações finais .....	147
8.1 Principais conclusões.....	147
8.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	150
Referências Bibliográficas.....	152
Anexos.....	162
Anexo I – Questionário aplicado na pesquisa de campo .....	162
Anexo II - Características dos motores utilizadas para estimar o CEC das embarcações. .....	168
Anexo III – Coeficientes dos polinômios da série de Wageningen.....	169
Anexo IV - Expressões para correção do efeito do número de Reynolds (maiores que $2.10^6$ ) .....	171
Anexo V - Pontos retirados do Diagrama de Burril .....	172

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1</b> - Rede de cerco.....	13
<b>Figura 2.2</b> - Rede de envolver de barco.....	13
<b>Figura 2.3</b> - Arrasto com viga ( <i>Beam trawl</i> ) .....	14
<b>Figura 2.4</b> - Rede de arrastos simples.....	14
<b>Figura 2.5</b> - Arrasto de parelha .....	15
<b>Figura 2.6</b> - Arrastos duplo.....	15
<b>Figura 2.7</b> - Draga para vieira .....	16
<b>Figura 2.8</b> - Rede elevadiça operada por embarcação.....	17
<b>Figura 2.9</b> - Redes de caída .....	17
<b>Figura 2.10</b> - Redes de emalhe .....	18
<b>Figura 2.11</b> - Rede de emalhe de cerco .....	19
<b>Figura 2.12</b> - Rede de tresmalho.....	19
<b>Figura 2.13</b> - Cerco fixo .....	20
<b>Figura 2.14</b> - Cerco flutuante .....	20
<b>Figura 2.15</b> – Armadilhas: covo, manzuá e potes .....	21
<b>Figura 2.16</b> - Linha de mão .....	22
<b>Figura 2.17</b> – Garatéias e Zangarilhos.....	22
<b>Figura 2.18</b> - Espinhéis.....	23
<b>Figura 2.19</b> - Pesca de corrico .....	24
<b>Figura 2.20</b> - Técnicas de pesca segundo a FAO .....	25
<b>Figura 2.21</b> - Perdas energéticas em barco de pesca de arrasto de pequena escala.....	28
<b>Figura 2.22</b> - Padrão do uso de combustível: Artes de pesca passivas .....	30
<b>Figura 2.23</b> - Padrão do uso de combustível: Artes de pesca ativas .....	31
<b>Figura 3.1</b> - Principais componentes do sistema de propulsão.....	42
<b>Figura 3.2</b> - Turbina a vapor.....	45

<b>Figura 3.3</b> - Sistema turbo elétrico .....	46
<b>Figura 3.4</b> - Propulsão diesel mecânica .....	48
<b>Figura 3.5</b> - Configuração de um sistema de propulsão puramente elétrico .....	49
<b>Figura 3.6</b> - Diagrama em blocos de um sistema de propulsão elétrica .....	50
<b>Figura 3.7</b> - Principais componentes de um sistema diesel elétrico .....	51
<b>Figura 3.8</b> - Configuração do sistema de propulsão híbrido em série .....	52
<b>Figura 3.9</b> - Configuração do sistema de propulsão híbrido paralelo.....	53
<b>Figura 3.10</b> - Configuração do sistema de propulsão híbrido “série/paralelo”. .....	54
<b>Figura 3.11</b> - Fluxo de energia em um sistema elétrico simplificado .....	57
<b>Figura 3.12</b> - Sistema de propulsão nuclear .....	59
<b>Figura 4.1</b> - Distribuição da Arqueação Bruta das embarcações.....	63
<b>Figura 4.2</b> - Parâmetros físicos da frota pesqueira do Rio de Janeiro: 2010/2012.....	66
<b>Figura 4.3</b> - Número de embarcações por modalidade de pesca .....	67
<b>Figura 4.4</b> - Esquema típico de seção de espinhel de superfície .....	74
<b>Figura 4.5</b> - Tambor com guincho hidráulico utilizado no lançamento e recolhimento do espinhel.....	75
<b>Figura 5.1</b> - Localização do Cais Sardinha 88 no Município de Niterói.....	79
<b>Figura 5.2</b> - Distribuição do tempo gasto em cada etapa de uma viagem típica de pesca .....	82
<b>Figura 5.3</b> - Relação esforço de pesca x consumo de combustível em uma viagem de pesca .....	88
<b>Figura 6.1</b> - Componentes da resistência ao avanço da embarcação.....	102
<b>Figura 6.2</b> - Características do escoamento ao longo do casco .....	106
<b>Figura 6.3</b> - Representação polinomial dos coeficientes $K_t$ e $K_q$ dos hélices da Série B111	
<b>Figura 6.4</b> - Diagrama em águas abertas de um hélice da série sistemática B .....	111
<b>Figura 6.5</b> - Fluxograma para obtenção do coeficiente $J$ de operação .....	114
<b>Figura 6.6</b> - Diagrama de Burril .....	116
<b>Figura 6.7</b> - Equações dos pontos retirados do diagrama de Burril.....	118

<b>Figura 6.8</b> - Etapas necessárias para estimar a potência instalada .....	120
<b>Figura 6.9</b> - Resistência total x velocidade.....	122
<b>Figura 6.10</b> - Potência Efetiva x velocidade.....	123
<b>Figura 6.11</b> – Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,6 metros .....	125
<b>Figura 6.12</b> - Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,65 metros.....	125
<b>Figura 6.13</b> - Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,7 metros.....	126
<b>Figura 6.14</b> - Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,75 metros.....	126
<b>Figura 6.15</b> - Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,8 metros.....	127
<b>Figura 6.16</b> - Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,85 metros.....	127
<b>Figura 6.17</b> - Variação da eficiência em águas abertas e rotação com a relação P/D do propulsor selecionado .....	129
<b>Figura 6.18</b> - Pontos de operação do sistema de propulsão e aplicação de margens ..	131
<b>Figura 6.19</b> - Principais componentes do sistema diesel elétrico .....	133
<b>Figura 7.1</b> - Percentual de potência utilizada pelos geradores por etapas de pesca ....	140
<b>Figura 7.2</b> - Estimativas do consumo de combustível total de uma viagem de pesca .....	142

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 2.1</b> - Revisão dos principais conceitos que definem a pesca artesanal .....	10
<b>Tabela 2.2</b> - Intensidade do uso de combustível de diferentes artes de pesca, espécies alvo e regiões .....	33
<b>Tabela 4.1</b> - Produção pesqueira das principais artes de pesca desembarcadas no Estado do Rio de Janeiro (2011 e 2012).....	64
<b>Tabela 4.2</b> - Parâmetros de caracterização física das embarcações da frota do RJ .....	69
<b>Tabela 4.3</b> - Parâmetros de caracterização física das embarcações da frota do RJ .....	70
<b>Tabela 5.1</b> - Parâmetros das embarcações da pesca de espinhel de fundo que operam no Estado do Rio de Janeiro .....	80
<b>Tabela 5.2</b> - Resumo dos dados de desempenho da frota de espinhel de fundo .....	81
<b>Tabela 5.3</b> - Parâmetros utilizados para a estimativa do consumo de combustível de uma viagem de pesca.....	87
<b>Tabela 5.4</b> - Consumo de combustível total de uma viagem de pesca estimado pelos diferentes métodos para cada embarcação.....	89
<b>Tabela 5.5</b> - Cálculo do EPAM para cada método de estimação de consumo de combustível.....	89
<b>Tabela 5.6</b> - Comparação do consumo de combustível estimado com o consumo obtido na pesquisa de campo, em litros.....	90
<b>Tabela 5.7</b> - Indicadores de consumo energético do sistema de conservação do pescado .....	94
<b>Tabela 5.8</b> - Intensidade do uso de combustível da frota de espinhel de fundo do Estado do Rio de Janeiro .....	95
<b>Tabela 5.9</b> - Fatores de emissão e Global Warming Potential (GWP) por GEE diferentes do CO <sub>2</sub> .....	99
<b>Tabela 6.1</b> - Limitações para aplicação do Método de Holtrop.....	104
<b>Tabela 6.2</b> - Dimensões principais da embarcação.....	105
<b>Tabela 6.3</b> - Planilha de dados de cálculos pelo Método Holtrop e Mennem .....	105
<b>Tabela 6.4</b> - Resultados de w, t, Va e Pt para diferentes diâmetros do hélice.....	119

<b>Tabela 6.5</b> - Resultados ótimos para os propulsores selecionados .....	124
<b>Tabela 6.6</b> - Resultados de eficiência, velocidade, torque e potência para o propulsor selecionado .....	128
<b>Tabela 6.7</b> - Balanço Elétrico dos grupos consumidores para cada condição de operação.....	130
<b>Tabela 6.8</b> - Resultados da aplicação das margens de serviço na potência e rpm para o sistema diesel.....	132
<b>Tabela 6.9</b> - Potências requeridas nos equipamentos do sistema diesel elétrico .....	134
<b>Tabela 6.10</b> - Resultados da aplicação das margens de serviço na potência e rpm para o sistema diesel elétrico.....	135
<b>Tabela 7.1</b> - Características do Motor Diesel selecionado. ....	136
<b>Tabela 7.2</b> - Parâmetros utilizados na estimativa do consumo de combustível das etapas de uma viagem típica de pesca: Sistema diesel “convencional”. ....	137
<b>Tabela 7.3</b> - Cálculo do consumo por etapas de uma viagem típica de pesca: Sistema diesel “convencional”. ....	138
<b>Tabela 7.4</b> - Características do Grupo Gerador selecionado. ....	139
<b>Tabela 7.5</b> - Cálculo do consumo de diesel dos geradores em cada etapa de pesca....	140
<b>Tabela 7.6</b> - Cálculo do consumo por etapas de uma viagem típica de pesca: Sistema diesel elétrico.....	141
<b>Tabela 7.7</b> - Comparação das estimativas do consumo de combustível.....	142
<b>Tabela 7.8</b> - Comparação do consumo de combustível dos diferentes sistemas de propulsão com o uso de porão refrigerado .....	144
<b>Tabela 7.9</b> - Emissões de GEE por etapas de uma viagem de pesca.....	146

## Lista de Siglas

Ae – Área expandida

Ao – Área do quadrante

Ap – Área projetada

CEC – Consumo específico de combustível

CH<sub>4</sub> – Metano

CO<sub>2</sub>e – Dióxido carbono equivalente

D – Diâmetro do propulsor

Ee – Erro de estimativa

EPAM – Erro percentual xvimerican médio

FAO – *Food and Agiculture Organization of the United Nations*

FIPERJ – Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro

GEE – Gases de efeito estufa

IPCC - - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IUC – Intensidade do uso de combustível

J – Coeficiente de avanço

Kq – Coeficiente de torque

Kt – Coeficiente de empuxo

Lwl – Comprimento na linha de flutuação

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MCA – Motor de combustão auxiliar

MCI – Motor de combustão interna

MCP – Motor de combustão principal

N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso

η<sub>d</sub> – Eficiência propulsiva

η<sub>h</sub> – Eficiência do casco

η<sub>o</sub> – Eficiência em água aberta

η<sub>p</sub> – Eficiência do propulsor

η<sub>rr</sub> – Eficiência rotativa relativa

η<sub>t</sub> – Eficiência de transmissão;

P/D – Razão passo-diâmetro

Pa – Pressão atmosférica

Pd – Potência entregue ao propulsor (*Delivered Power*)



$P_e$  – Potência efetiva

$P_m$  – Potência fornecida pelo motor

$P_t$  – Potência de empuxo

$Q$  – Torque

$\rho$  – densidade do fluido

$\sigma$  – Número de cavitação

RPM – Velocidade de rotação do motor (revoluções por minuto)

$R_t$  – Resistência total da embarcação

$T$  – Força de empuxo

$t$  – Coeficiente de redução da força propulsora

$\tau_c$  – Coeficiente de Burril

$V_a$  – Velocidade de avanço

$V_s$  – Velocidade de serviço

$w$  – Coeficiente de esteira

# **1. Introdução**

## **1.1 Considerações iniciais**

O uso de energia tem um papel fundamental na viabilidade da atividade pesqueira, na medida em que esta é altamente dependente do consumo de combustível fóssil para satisfazer suas necessidades energéticas (DRISCOLL; TYEDMERS, 2010; HUA; WU, 2011; MUIR, 2015). Estima-se que, em 2014, a frota pesqueira mundial era de aproximadamente 4,6 milhões de embarcações, com 64% equipadas com motores de combustão interna FAO (2016).

Em nível global, os custos com combustíveis representam de 30% a 50% dos custos totais das frotas pesqueiras e podem representar 20-30% do valor total da captura, com um consumo maior nas pescas em pequena escala e em países em desenvolvimento (BASURKO; GABIÑA; URIONDO, 2012; GABIÑA et al., 2016; PARKER; TYEDMERS, 2015; VAN BEEK; VAN DER STEENHOVEN, 2005). Em 2001, estimativas apontavam que o custo com combustível representava 21% da receita obtida com as capturas desembarcadas, enquanto que em 2008, durante o período de alta dos preços do combustível, este número aumentou para 50%, MUIR (2015).

CHEILARI et al. (2013) estimaram para o ano de 2008, uma emissão de 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes a aproximadamente 3,7 bilhões de litros de combustível queimado por 54 diferentes frotas pesqueiras da União Europeia.

Como consequência da crescente preocupação com os custos e os impactos no meio ambiente causados pelo uso de combustíveis fósseis, pode-se perceber um interesse crescente na busca por novas tecnologias com consumo mais racional de energia.

Diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento estão sendo realizados em todo o mundo, com o objetivo de identificar o perfil de consumo energético de diferentes tipos de embarcações pesqueiras e reduzir o uso de combustível (BASURKO; GABIÑA; URIONDO, 2013; FERNÁNDEZ et al., 2010; GULBRANDSEN, 2012; LOGASON, 2015; NOTTI; SALA, 2012; SALA; DE CARLO; BUGLIONE, 2010; SCHAU et al., 2009).

O consumo de combustível de uma embarcação de pesca depende de seu perfil operacional e da modalidade de pesca empregada (KARLSEN, 2012; SUURONEN et al., 2012; THRANE, 2008). Algumas modalidades de pesca exigem manobras

frequentes das embarcações, o que confere a elas uma demanda de potência de propulsão altamente variável nos diferentes estágios de operação da atividade de pesca. Isto faz com que os motores não operem no seu ponto ótimo para o perfil operacional da embarcação (FERNÁNDEZ et al., 2010).

A pesca de espinhel possui um perfil operacional característico, que combina períodos de alta velocidade (lançamento e recolhimento das linhas), com períodos de baixa demanda de energia (espera), além dos períodos de navegação entre as zonas de pesca em uma velocidade maior. Com isso, suas embarcações possuem grande potencial para redução do consumo de combustível através da utilização de sistemas de propulsão mais adequados ao seu modo de operação, como a propulsão diesel elétrica ou híbrida (FERNÁNDEZ et al., 2010; LOGASON, 2015).

Para fins de delimitação de escopo, nesta tese, a propulsão diesel elétrica será definida como um sistema em que os propulsores são acionados por motores elétricos alimentados por grupos geradores diesel compostos por motores de combustão interna (MCI) e geradores elétricos. Já a propulsão híbrida faz referência a um sistema de propulsão diesel elétrico combinado com um equipamento de armazenamento e fornecimento de energia (normalmente um banco de baterias).

## **1.2 Objetivos e metodologia aplicada**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste estudo é identificar o nível de consumo de energia da frota de Espinhel de fundo do Estado do Rio de Janeiro, quantificar a escala de uso de energia de diferentes etapas de uma viagem de pesca típica desta frota e encontrar bases para o desenvolvimento de melhores estratégias na redução do consumo de combustível fóssil e emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Para responder ao objetivo geral desta tese, têm-se como objetivos específicos:

- Fazer uma análise comparativa de diferentes métodos para estimar o consumo de combustível da frota pesqueira, baseada no cálculo do Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM) dos métodos, comparando os resultados com os dados obtidos em uma pesquisa de campo.

- Aplicar uma abordagem empírica para modelar as potências de propulsão exigidas por uma embarcação típica da peca de espinhel para os sistemas diesel e diesel elétrico, comparando-os quanto ao consumo de combustível e a emissão de GEE de acordo com o seu perfil operacional.

- Comparar o desempenho no uso de energia da frota de espinhel de fundo brasileira com as principais modalidades de pesca empregadas no mundo, através do indicador de eficiência energética “IUC” (Intensidade do Uso de Combustível), que relaciona a quantidade de combustível consumido e o total de pescado capturado por uma embarcação em uma viagem de pesca.

As emissões de GEE das embarcações foram calculadas com base no método ‘Tier 1’ e os fatores de emissão *water-borne navigation*, incluídos nos fatores de emissão de combustão móvel, fornecidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Este estudo estimou as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que representam cerca de 95% das emissões dos sistemas de energia conduzidos pela combustão de combustíveis fósseis (IPCC et al., 2006; PARK et al., 2015).

### **1.3 Estrutura da tese**

Com o objetivo de estruturar estas análises, a tese está dividida em oito capítulos: este capítulo introdutório, seis capítulos nos quais o estudo será desenvolvido (capítulos 2 a 7), e o último capítulo, que contém as conclusões e recomendações da pesquisa.

O segundo capítulo apresentará primeiramente uma revisão bibliográfica acerca da evolução das definições e classificações atribuídas a atividade de pesca, especialmente no que diz respeito à distinção entre pesca artesanal e industrial. A seguir, será exposto como são classificadas as principais artes de pesca empregadas mundialmente e quais as suas características de operação. Posteriormente será mostrado um panorama do consumo energético do setor pesqueiro, mostrando a importância do consumo de combustível fóssil na pesca, devido a sua elevada representatividade na estrutura de custos de uma embarcação e o impacto causado no meio ambiente, decorrente de sua queima. Após avaliar os perfis de consumo de energia característicos de cada arte de pesca, será definido e analisado o indicador usualmente utilizado para avaliar o desempenho energético do setor pesqueiro – IUC – de modo que,

posteriormente, possa ser feita a comparação da performance energética das principais modalidades de pesca com a modalidade analisada nesta tese.

O terceiro capítulo será destinado a apresentar um histórico das tecnologias de propulsão empregadas no setor marítimo, começando com uma breve descrição da evolução histórica dos sistemas de propulsão utilizados e as denominações dos principais componentes de uma instalação de propulsão marítima. Em seguida, será definido o modo de funcionamento dos principais sistemas de propulsão, com ênfase para o sistema elétrico, onde serão apresentadas suas principais vantagens e desvantagens de operação.

No quarto capítulo será feita uma caracterização e quantificação do setor pesqueiro fluminense, em que será explicitado o contexto de atuação das diferentes modalidades de pesca encontradas no Estado do Rio de Janeiro e sua importância na produção pesqueira nacional. Serão detalhadas as características, equipamentos e modo de operação da pesca de espinhel de fundo para, por fim, apresentar as razões que levaram a escolha deste tipo de arte de pesca para as análises deste estudo.

O quinto capítulo irá apresentar a metodologia utilizada para estimar o consumo de energia e as emissões de GEE da frota de espinhel de fundo, com base em dados coletados em uma pesquisa de campo realizada no Estado do Rio de Janeiro. Inicialmente será definido um perfil operacional característico de uma viagem de pesca típica, dividindo-a em diferentes etapas. Isto possibilitou estimar o consumo de combustível por etapas, após a apresentação e comparação de quatro métodos de estimativa testados. A escolha de utilizar diferentes métodos para estimar consumo de combustível foi fundamentada na possibilidade de explorar as diferenças encontradas nos resultados obtidos com cada método e determinar o mais adequado para realizar as estimativas de uma frota específica, por etapas de uma viagem de pesca, com base nos dados disponíveis e no perfil operacional da modalidade de pesca analisada.

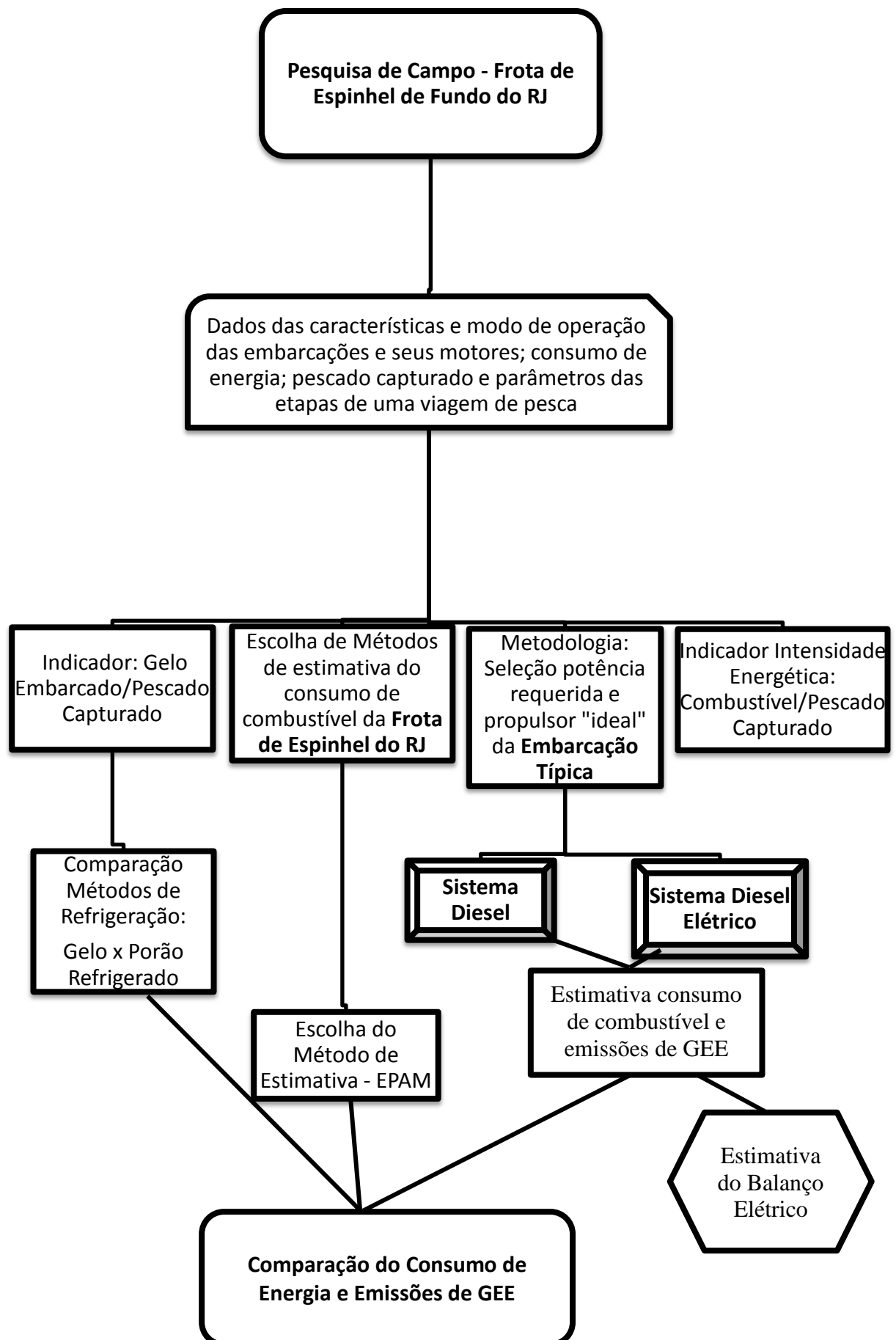
A partir dos dados coletados na pesquisa de campo, também será realizada uma análise referente à energia consumida para a conservação do pescado capturado, feita exclusivamente com gelo fabricado em terra e levado a bordo. Foi definido um indicador que representa a relação gelo consumido/captura desembarcada, com o objetivo de avaliar a eficiência energética do método de conservação do pescado, a partir do cálculo do consumo de energia necessário para a produção do gelo embarcado.

Em seguida, será feita a comparação da performance energética da frota analisada neste trabalho com frotas pesqueiras de outros países, a partir da IUC apresentada e discutida no capítulo 2. Finalmente, na última seção será exposto o método utilizado para estimar as emissões de GEE, com a especificação dos parâmetros utilizados em sua formulação.

No capítulo 6, será demonstrada a abordagem empírica e os resultados obtidos para o dimensionamento da motorização total nos sistemas diesel e diesel elétrico de uma embarcação típica da frota de espinhel de fundo como proposta de uso mais racional de energia, com vistas à redução do consumo de combustível fóssil.

Deste modo, no capítulo 7 o consumo de combustível e a emissão de GEE nos sistemas diesel e diesel elétrico da embarcação típica, de acordo com o perfil operacional da frota analisada no capítulo 5, serão estimados e comparados para que no oitavo capítulo sejam realizados os comentários finais da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

O fluxograma a seguir mostra de forma esquemática todos os processos de cálculos realizados, com base nos dados obtidos das características físicas e operacionais da frota de espinhel de fundo em uma pesquisa de campo realizada no município de Niterói, Rio de Janeiro.



## 2. Definições e características da atividade pesqueira

### 2.1 Definição da atividade de pesca

A pesca é considerada uma antiga e importante atividade humana em muitos países, praticada pelo homem desde a pré-história e contribuindo com a economia, cultura, geração de empregos e o suprimento de alimentos de diversas comunidades.

A atividade pesqueira envolve uma série de fatores (histórico-culturais, ambientais, sociais, políticos e econômicos). Portanto, uma questão importante quando se trata da pesca é a heterogeneidade de sua atividade que pode ser dividida em diferentes categorias, de acordo com a sua finalidade econômica e social.

A atividade de pesca pode ser definida segundo diversos aspectos, como os meios ou equipamentos utilizados, sua finalidade e o tipo de mão de obra empregada. No Brasil, a Lei nº 11.959, de 29 de junho de 2009 – Lei Geral da Pesca, que institui a atual Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca define a atividade pesqueira nacional de acordo com as seguintes categorias (BRASIL, 2009):

#### I. Comercial

a) **Pesca Artesanal:** quando praticada diretamente por pescador profissional, de forma autônoma ou em regime de economia familiar, com meios de produção próprios ou mediante contrato de parceria, desembarcado, podendo utilizar embarcações de pequeno porte<sup>1</sup>;

b) **Pesca Industrial:** quando praticada por pessoa física ou jurídica e envolver pescadores profissionais, empregados ou em regime de parceria por cotas-partes, utilizando embarcações de pequeno, médio ou grande porte, com finalidade comercial;

#### II. Não comercial

a) **Pesca científica:** quando praticada por pessoa física ou jurídica, com a finalidade de pesquisa científica;

---

<sup>1</sup> Os critérios de definição do porte das embarcações são estabelecidos pela referida Lei nº 11.959/2009. As embarcações de pequeno porte são aquelas que possuem arqueação bruta (AB) igual ou menor que 20 (vinte). As de médio porte possuem AB maior que 20 (vinte) e menor que 100 (cem), enquanto as de grande porte possuem AB igual ou maior que 100 (cem).



b) **Pesca amadora:** quando praticada por brasileiro ou estrangeiro, com equipamentos ou petrechos previstos em legislação específica, tendo por finalidade o lazer ou o desporto;

c) **Pesca de subsistência:** quando praticada com fins de consumo doméstico ou escambo sem fins de lucro e utilizando petrechos previstos em legislação específica.

Entretanto, a definição de pesca artesanal e industrial não é divida de forma objetiva e clara, podendo ser modificada de acordo com o Estado ou a região, não existindo um consenso acerca das características que as distinguem (LOPES, 2004) apud (SILVA; AZEVEDO; FERREIRA, 2012). Definir a pesca que utiliza barcos de pequeno porte, movidos a motor de baixa potência, remo ou vela como pesca artesanal, no entanto, parece senso comum. Do mesmo modo, a pesca que utiliza grandes embarcações com alguma tecnologia e grande poder de conservação e armazenamento do pescado, geralmente é definida como industrial (LOPES, 2004).

(DIEGUES, 1983) divide a pesca empresarial/industrial em duas subcategorias: a desenvolvida por armadores de pesca e a empresarial ou industrial.

A pesca industrial desenvolvida por armadores de pesca, pessoas físicas ou jurídicas, caracteriza-se pelo fato de os proprietários das embarcações e dos petrechos de pesca, no caso os armadores, não participarem de modo direto do processo produtivo, função delegada ao mestre da embarcação. As embarcações utilizadas são de maior porte e raio de ação que aquelas utilizadas pela pequena escala, além de exigirem certa divisão de trabalho entre os tripulantes: mestre, cozinheiro, gelador, maquinista, pescador, etc. São motorizadas, e dispõem, ainda, de equipamentos auxiliares à pesca, que demandam algum treinamento formal para determinadas funções que, no entanto, não substituem completamente o saber-fazer dos pescadores e, sobretudo, do mestre que o emprega.

Na pesca industrial, considerada empresarial, a empresa é proprietária, tanto das embarcações, como dos petrechos de pesca. É organizada em diversos setores e, em alguns casos, integra verticalmente as etapas de captura, beneficiamento e comercialização do pescado. As embarcações dispõem de mecanização não apenas para propulsão, mas também para o desenvolvimento das fainas de pesca como o lançamento e recolhimento de redes, e, em alguns casos, beneficiamento do pescado a bordo, o que não acontece com as artesanais. Encontram-se a bordo equipamentos eletrônicos de

localização de cardumes, auxílio a navegação, etc. A mão-de-obra, embora recrutada, em sua maioria, entre pescadores de pequena escala, ou nos barcos de armadores, necessitam de treinamento específico para a operação da maquinaria que vem substituir de maneira mais profunda o saber-fazer adquirido pela tradição.

Segundo GIULIETTI; ASSUMPÇÃO (1995), a pesca industrial é do tipo empresarial, com embarcações de grande tonelagem e motorizadas, cuja tecnologia de captura é desenvolvida com alta capacidade produtiva e em áreas distantes da costa, com grande autonomia de navegação. Normalmente é direcionada à captura de determinadas espécies, como camarão, de alto valor unitário; sardinha, capturada em grandes volumes, mas com valor unitário baixo, assim como a pescada, corvina, merluza entre outras.

Para REBOUÇAS; FILARDI; VIEIRA (2006), as atividades de pesca artesanal contrastam com este cenário marcado pelo viés produtivista. Este mesmo autor afirma que, apesar da ocorrência de práticas ilegais e predatórias, predomina a utilização de um conjunto diversificado de técnicas eficientes e de baixo impacto sobre os ecossistemas marinhos costeiros.

A distinção entre pesca artesanal e industrial não deve apenas estar atrelada à questão do instrumental tecnológico empregado nas capturas e sim nas formas de organização social das pescarias. A questão conceitual acerca da pesca é ampla, envolvendo diversas modalidades de técnicas, modos de apropriação dos recursos pesqueiros, formas de organização da produção e distribuição dos rendimentos NETO (2009); CARDOSO (2001) apud NETO (2009).

Inúmeros trabalhos são encontrados com diferentes definições de pesca artesanal e industrial. No entanto subdividir a atividade pesqueira simplesmente em artesanal ou industrial é discutível, uma vez que nem sempre se pode contar com uma fronteira claramente definida entre essas categorias LOPES (2004). A tabela 2.1 apresenta algumas subcategorias de pesca artesanal definidas por diversos autores.

**Tabela 2.1-** Revisão dos principais conceitos que definem a pesca artesanal.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Termo Utilizado</b>	<b>Descrição</b>
Diegues	1973	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabalha sozinho ou com mão de obra familiar ou não assalariada;</li> <li>• Local de pesca próximo à costa;</li> <li>• Embarcação com pouca autonomia de rendimento;</li> <li>• A produção destina-se ao mercado.</li> </ul>
Brasil Apud Giulietti et al.	1979	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Local de pesca em áreas costeiras, estuárias, lagunares, de lagoas e açudes;</li> <li>• Embarcação com pouca autonomia, com técnicas de reduzido rendimento.</li> </ul>
Diegues Apud Castro et al.	1983	Pesca Artesanal Profissional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praticada por formações socioeconômicas de pequena escala ou como pequena produção mercantil;</li> <li>• A pesca é a principal atividade exercida pelo pescador, entendida como uma profissão;</li> <li>• A produção destina-se à comercialização, e uma parte é usada para o próprio consumo.</li> </ul>
Diegues Apud Cardoso	1983	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabalho autônomo com força familiar ou vizinhança;</li> <li>• Tecnologia de baixo poder predatório;</li> <li>• A produção destina-se ao mercado.</li> </ul>
Branco et al. Apud Castro et al.	1994	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embarcações que tenham tonelagem bruta de arqueação maior que 20t com menor autonomia de mar, restringindo a pesca a pequenas áreas;</li> <li>• A produção destina-se ao mercado e/ou ao consumo familiar.</li> </ul>
Diegues Apud Galvão Neto & Silva	1995	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maioria das embarcações não motorizadas;</li> <li>• Fornecedora de mão de obra para os barcos empresariais;</li> <li>• Fornecedora de pescado às empresas de pesca que instalam seus postos de venda ao longo da costa;</li> <li>• A produção destina-se ao mercado interno e ao consumo familiar.</li> </ul>
Dias-Neto et al.	2003	Pesca Artesanal ou de Pequena Escala	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O próprio pescador é proprietário da embarcação;</li> <li>• A comercialização destina-se ao consumo familiar e ao mercado;</li> <li>• Comercializado por meio dos “intermediários”.</li> </ul>
Pasquotto	2004	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regime de trabalho familiar ou em grupos de parentesco ou vizinhança;</li> <li>• O próprio pescador é proprietário do meio de produção.</li> </ul>
Lopes	2004	Pesca Artesanal Comercial ou de Pequena Escala	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barcos de pequeno porte, movidos a motor de baixa potência, remo ou à vela;</li> <li>• A produção destina-se ao mercado interno e ao consumo familiar.</li> </ul>
Muniz	2005	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamento mecânico ou automático, como motores de combustão ou guinchos.</li> </ul>
Clauzet	2005	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os pescadores trabalham sozinhos, ou utilizam mão de obra familiar ou assalariada;</li> <li>• Pescam próximos à costa;</li> <li>• A captura é feita por meio de técnicas de reduzido rendimento relativo;</li> <li>• A produção é destinada total ou parcialmente ao mercado interno.</li> </ul>

Pasquotto	2005	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabalho com força familiar ou grupos de vizinhança;</li> <li>• Pequenas embarcações; os pescadores detêm total ou parcialmente os meios de produção.</li> </ul>
Mendonça	2007	Pesca Costeira e Estuarino Lagunar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo incremento tecnológico, barcos motorizados ou não, 5 a 9 m de comprimento.</li> </ul>
Brasil	2009	Comercial Lagunar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praticada diretamente por pescador profissional, de forma autônoma ou em regime de economia familiar;</li> <li>• Com meios de produção próprios ou mediante contrato de parceria, desembarcado;</li> <li>• Embarcações de pequeno porte.</li> </ul>
Silva	2010	Pesca Artesanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A pesca se realiza única e exclusivamente com base no trabalho manual do pescador;</li> <li>• As tecnologias empregadas são rudimentares;</li> <li>• A produção não é estocada.</li> </ul>

**Fonte:** (SILVA; AZEVEDO; FERREIRA, 2012).

Por fim, o Ministério da pesca e Aquicultura<sup>2</sup> MAPA (2017) caracteriza a pesca artesanal como aquela que atua nas capturas com o objetivo comercial, associado à obtenção de alimento para as famílias dos participantes, com o concurso predominante do trabalho familiar, ou do grupo de vizinhança. Desta forma, a embarcação da pesca artesanal, não é, exclusivamente, um meio de produção, mas, também, de deslocamento, onde o proprietário da embarcação é, normalmente, um dos pescadores que participa, como os demais, de toda a faina de pesca. Porém, é também significativa a interferência de intermediários, o que, na maioria dos casos, resulta na apropriação, pelos mesmos, de grande parte da renda dos pescadores<sup>3</sup>.

## 2.2 Embarcações pesqueiras e modalidades de pesca

As embarcações pesqueiras possuem algumas particularidades que as diferenciam de outros tipos de embarcações, como os navios cargueiros, que transportam graneis ou carga geral. Estes tipos de navios geralmente carregam e descarregam cargas nos portos, onde sua principal função no mar é a de transportá-las. Diferentemente, as embarcações de pesca são utilizadas na execução de diversos procedimentos no mar, como a procura, captura, embarque, desembarque e em alguns

<sup>2</sup> Desde 2016, o Ministério da Pesca e Aquicultura foi extinto e incorporado ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Para mais informações, ver: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/pesca-e-aquicultura>.

<sup>3</sup> Disponível em <http://www.mpa.gov.br/101-apresentacao/250-o-diagnostico-da-pesca-extrativa-no-brasil>

casos até o processamento da carga a bordo, muitas vezes em condições climáticas adversas. Todos estes fatores conferem às frotas pesqueiras características de embarcações especializadas, onde suas dimensões, capacidade de armazenamento de carga, acomodações, máquinas e equipamentos estão relacionados ao cumprimento de suas operações.

A concepção de uma embarcação de pesca é definida de acordo com os seguintes parâmetros “FAO Fisheries & Aquaculture - Fisheries technology” (2017):

- Os tipos de espécies, localização, abundância e dispersão dos recursos pesqueiros;
- Os métodos e os petrechos de pesca utilizados;
- As características climáticas e geográficas do local de pesca;
- As condições de navegação e segurança da tripulação;
- O manuseio, processamento e armazenamento da captura;
- A disponibilidade de financiamento;
- A disponibilidade de construtores e expertise em barcos de pesca;
- Leis e regulações aplicáveis a projetos, construção e equipamentos de embarcações pesqueiras;
- A escolha e a disponibilidade de materiais adequados para a construção;
- Viabilidade econômica.

Devido às variações inerentes a cada um destes fatores, as frotas pesqueiras que operam em todo o mundo possuem grande diversidade, podendo variar desde pequenas canoas de 2 metros de comprimento até embarcações de mais de 100 metros, com viagens de pesca que podem durar poucas horas ou até alguns meses.

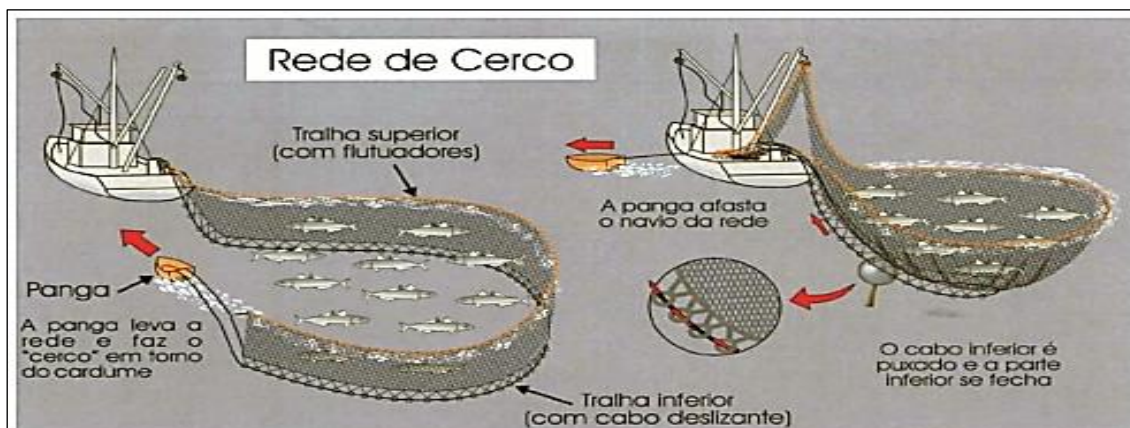
### **2.2.1 Classificação das principais artes de pesca**

Existem inúmeros aspectos que compõem as técnicas de pesca e diversas maneiras de se classificar as suas variações.

Segundo a FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), uma maneira de se classificar as artes de pesca, ou seja, o tipo de equipamento utilizado para capturar determinado recurso pesqueiro seria baseado nos princípios de como são capturados e, em menor escala, na construção dos petrechos. A FAO define 11 tipos de categorias de equipamentos de pesca, segundo a Classificação Estatística Internacional

Padrão das Artes de Pesca (ISSCFG – *International Standard Statistical Classification on Fishing Gears*), que serão detalhadas a seguir.

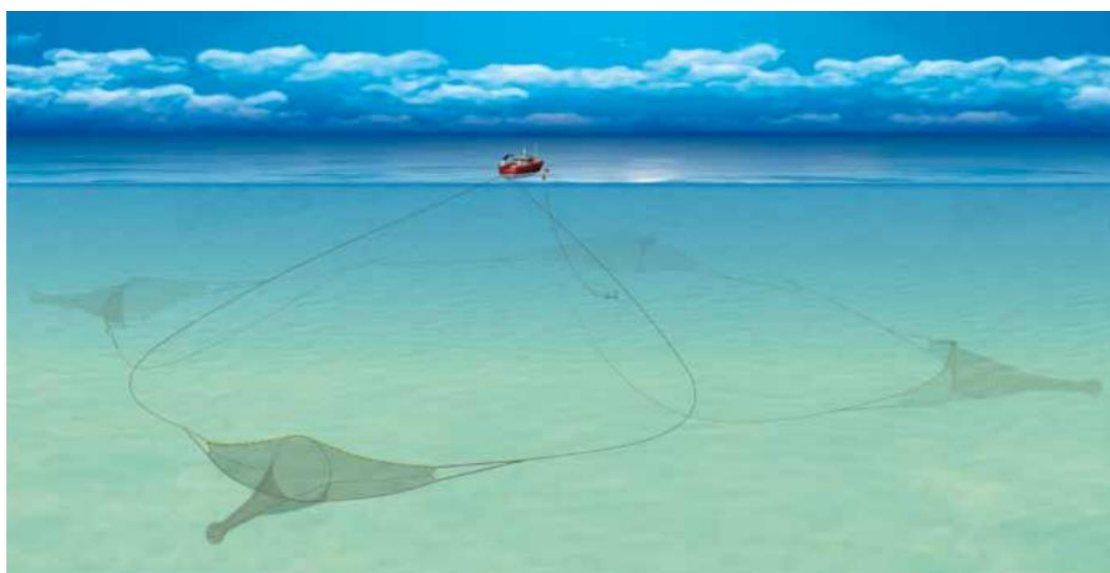
**1. Redes de cerco:** são grandes barreiras que circundam os peixes tanto pelos lados quanto pelo fundo, normalmente empregada como pesca de superfície. Podem ser de grandes dimensões, operadas por uma ou duas embarcações, onde o cerco do cardume é feito com o auxílio de um bote denominado de panga.



**Figura 2.1-** Rede de cerco.

**Fonte:** AFONSO (2013).

**2. Redes de envolver:** são redes longas, com ou sem um saco no centro, podendo ser colocadas a partir da costa (arrasto de praia) ou de um barco, puxadas com duas longas cordas.

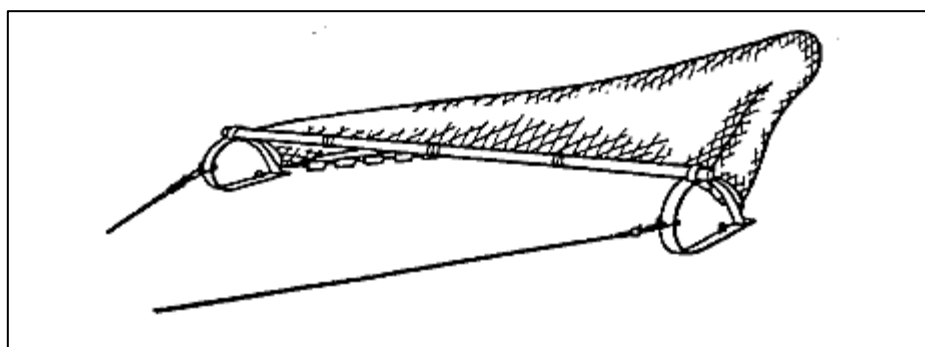


**Figura 2.2 –** Rede de envolver de barco.

**Fonte:** SEAFISH (2015).

**3. Redes de arrasto:** são redes em forma de cone, fechadas por um saco e estendidas em suas aberturas por duas asas. Podem ser rebocadas por um ou dois barcos e operam no fundo ou meia-água. A pesca que utiliza este tipo de rede é dividida em categorias, de acordo com o tipo de equipamentos utilizados e a quantidade de embarcações ou redes. Quanto à profundidade, são classificadas como arrasto de fundo ou meia-água. Ambas podem ser classificadas como *beam trawls*, arrasto simples, arrasto de parelha ou arrasto duplo.

No caso da pesca com rede de arrasto denominada *beam trawls*, a abertura horizontal da rede é mantida por uma viga, feita de madeira ou metal com comprimento maior ou igual a dez metros.



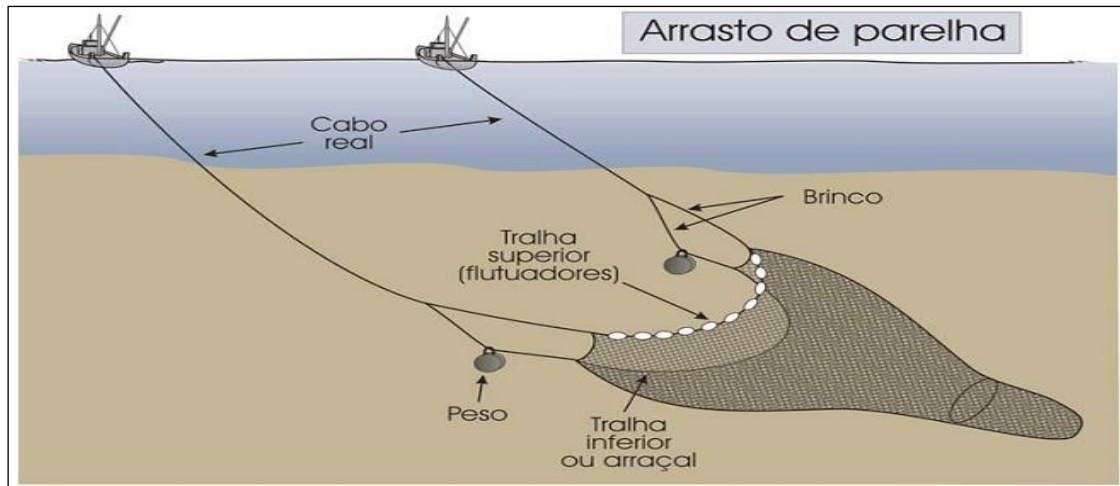
**Figura 2.3** – Arrasto com Viga (*Beam trawl*).  
**Fonte:** NÉDÉLEC; PRADO (1990).

Já no arrasto simples (*otter trawls*) a rede é rebocada por uma única embarcação e sua abertura é mantida por duas hidroportas, relativamente pesadas, em sua maioria, feitas de aço e variam de tamanho e peso segundo as dimensões da rede e potência do motor da embarcação.



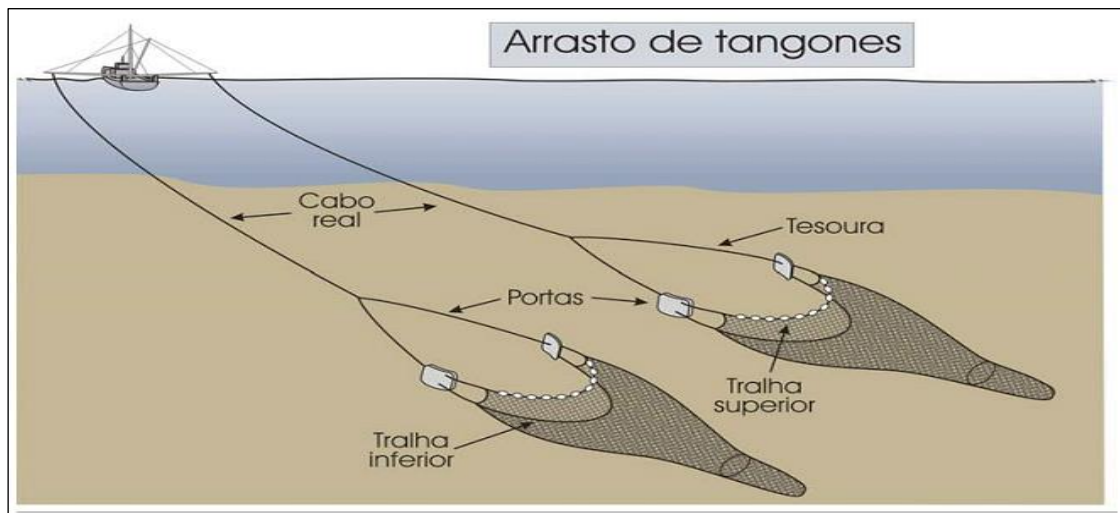
**Figura 2.4** – Rede de arrasto simples.  
**Fonte:** AFONSO (2013).

Outro tipo de modalidade de arrasto utilizada é o arrasto de parelha (*pair trawls*), onde a abertura da rede é mantida pela distância entre duas embarcações, cada uma puxando um cabo unido às asas da rede por brincos, sem a utilização de portas. São redes providas com asas mais longas e maior abertura vertical (altura da boca da rede) que as redes utilizadas nas outras modalidades de arrasto.



**Figura 2.5 – Arrasto de parelha.**  
**Fonte:** HAIMOVICI (2007).

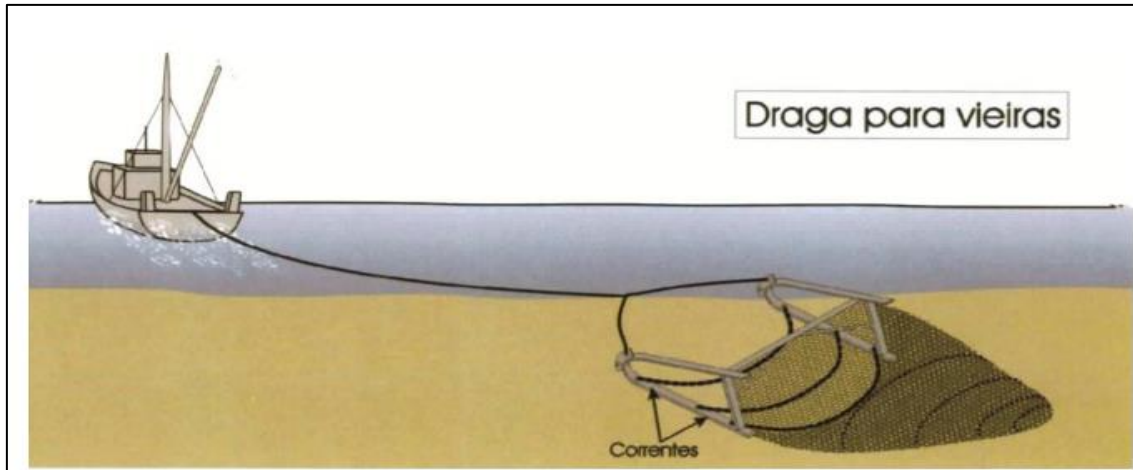
Por fim, o arrasto duplo ou de tangones (*double rig trawl*) compreende duas redes idênticas arrastadas por uma mesma embarcação. Os tangones são estruturas utilizadas pelas embarcações para realizar o arrasto simultâneo das redes.



**Figura 2.6 – Arrasto duplo.**  
**Fonte:** HAIMOVICI (2007).

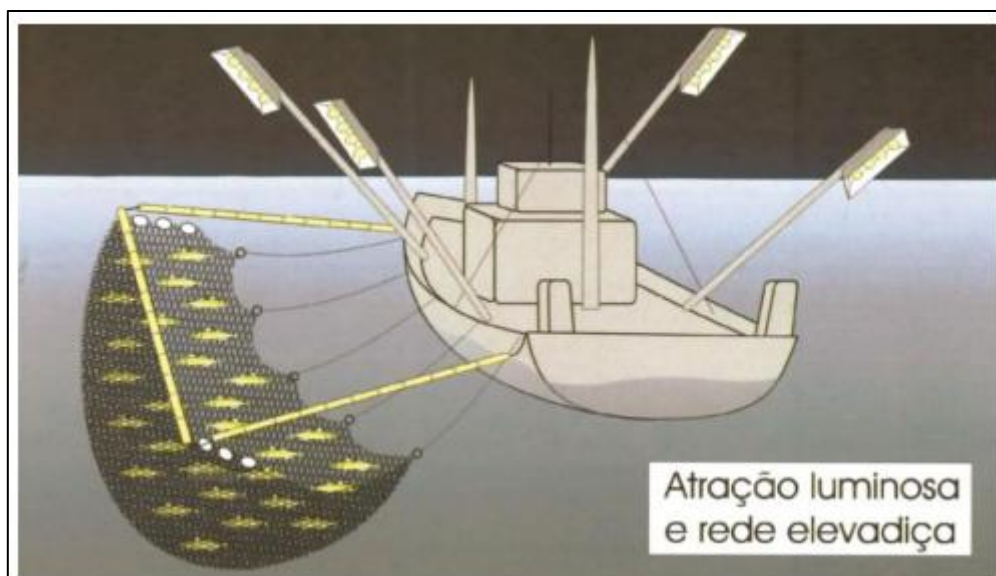


**4. Dragas:** são dispositivos arrastados no fundo do mar para capturar mariscos. Normalmente possui uma boca feita de metal com um saco de malha preso. As redes de maiores dimensões são puxadas por barcos, enquanto as menores podem ser puxadas manualmente.



**Figura 2.7** – Dragas para vieira.  
**Fonte:** AFONSO (2013).

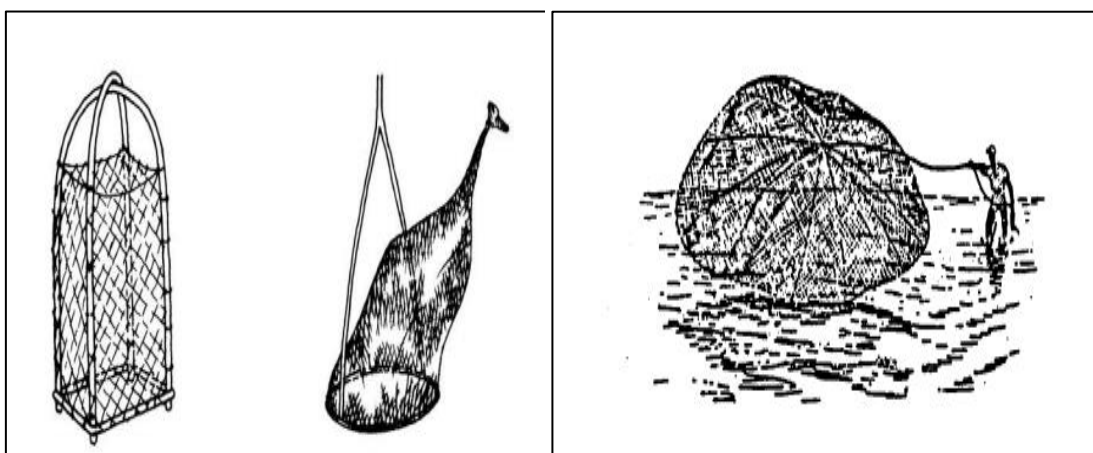
**5. Redes elevadiças:** são painéis de redes horizontais em forma de paralelepípedo, pirâmide ou cone, com abertura voltada para a superfície. Sua operação consiste em submergir a rede até certa profundidade e deixá-la durante tempo suficiente para que peixes ou moluscos sejam atraídos por iscas ou luzes e, posteriormente, é puxada de forma manual ou mecânica. Pode ser dividida em três categorias: as portáteis, que são operadas manualmente sem a necessidade de instalações fixas; as operadas por uma ou mais embarcações em alto mar e as operadas por instalações estacionárias na costa, utilizadas em águas rasas.



**Figura 2.8** – Rede elevadiça operada por embarcação.

**Fonte:** AFONSO (2013).

**6. Redes de caída:** incluem-se nesta categoria tarrafas, redes ou armadilhas de lançamento com a face voltada para baixo, jogadas sobre a presa a ser capturada. Podem ser lançadas da costa ou de uma embarcação e servem para capturar peixes individuais ou cardumes, geralmente perto da superfície.



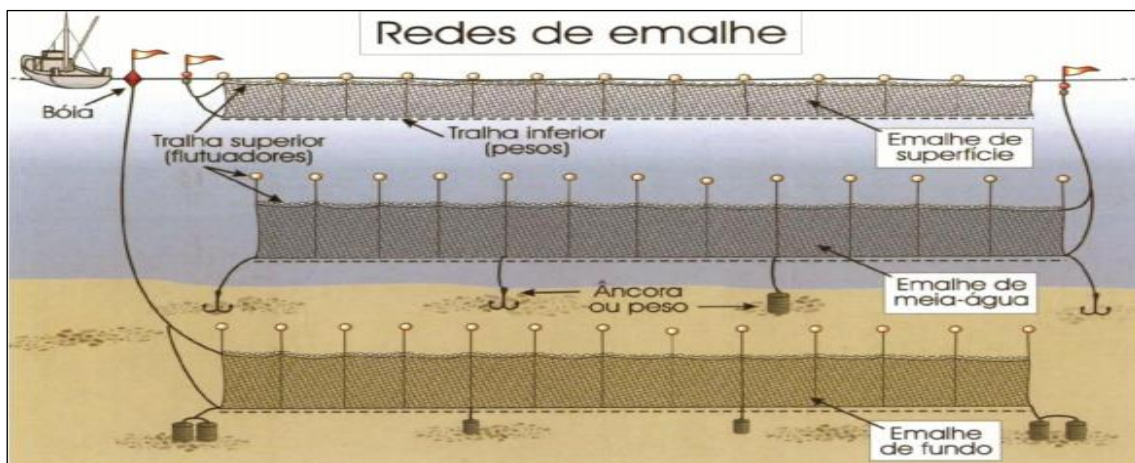
**Figura 2.9** – Redes de caída.

**Fonte:** NÉDÉLEC; PRADO (1990).

**7. Redes de Emalhe:** pertencem a esta categoria de pesca as redes de deriva e tresmalho. São redes largas, dispostas na vertical, usadas próximas a superfície, meia-água ou no fundo, funcionando de forma passiva, pois a captura ocorre pela retenção dos peixes na malha da rede. Possuem flutuadores na linha superior e, em geral pesos na linha de fundo. No emalhe de superfície, a rede não é fundeada, ficando a

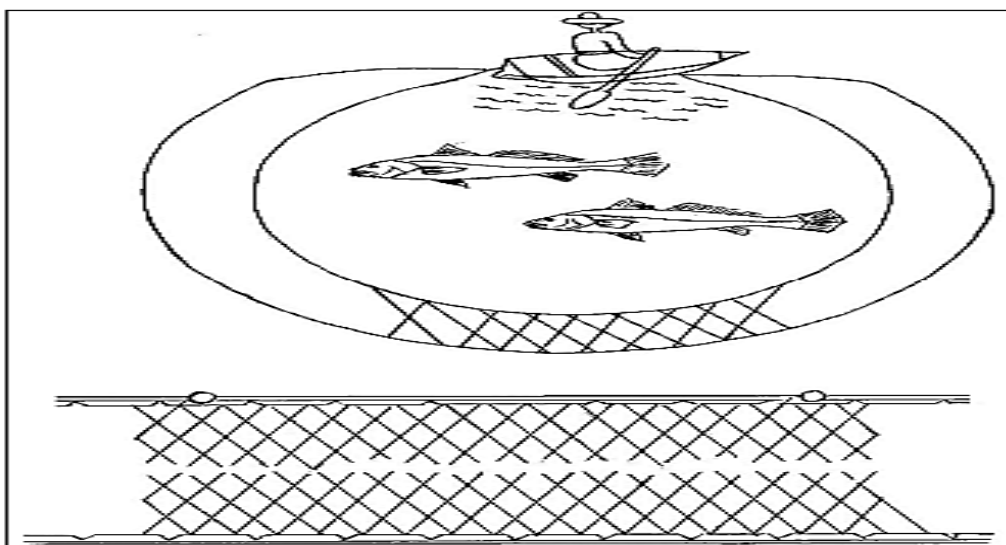
deriva por meio de flutuadores. No emalhe de meia-água ou de fundo, a rede fica fundeada por meio de âncoras ou cabos de lastro e sinalizada por boia na superfície. Um tipo de rede muito utilizada em águas interiores (lagoas e represas) é a rede de emalhe de cerco (*encircling gillnets*), também chamada de rede de volta/bate bate, em que os peixes são cercados pelo petrecho e, em seguida, os pescadores batem com os remos na parte interior da rede para os peixes ficarem emalhados. Vários tipos de redes podem ser combinados em um mesmo aparelho (por exemplo, redes de emalhe combinadas com tresmalho).

As redes de tresmalho são constituídas por três panos de redes sobrepostas: duas alvitanas (panos externos) confeccionados com fio mais grosso e malhas maiores e um miúdo (pano interno) com linha mais fina e malhas menores. Quando os peixes atravessam uma das grandes malhas da alvitana, ficam emalhados na panagem menor, o que confere a este tipo de pesca uma alta eficiência na captura de peixes de tamanhos variados. As figuras 2.10 a 2.12 abaixo ilustram os tipos de redes descritas anteriormente:

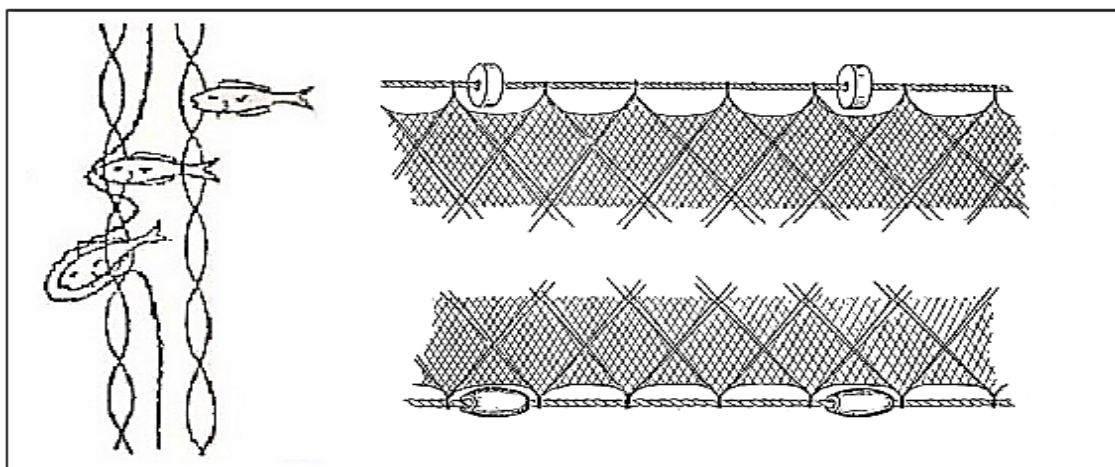


**Figura 2.10 – Redes de emalhe.**

**Fonte:** AFONSO (2013).



**Figura 2.11** – Rede de emalhe de cerco.  
**Fonte:** ICMBIO - CEPESUL/IBAMA (2017).

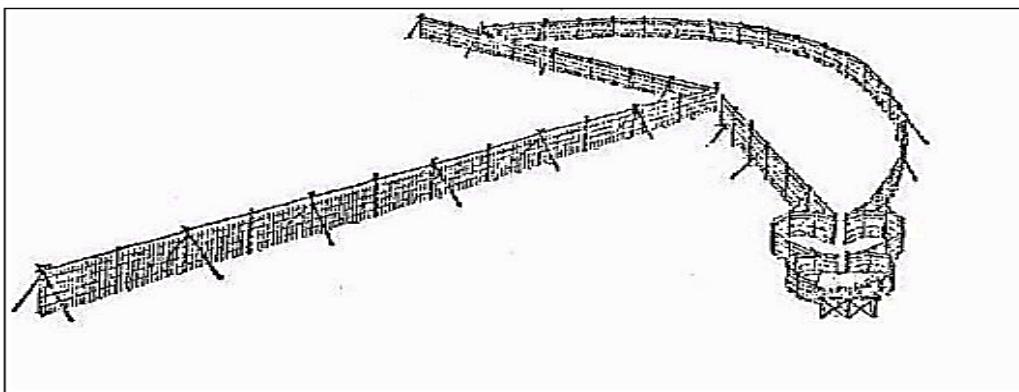


**Figura 2.12** – Rede de tresmalho.  
**Fonte:** ICMBIO - CEPESUL/IBAMA (2017).

**8. Armadilhas:** incluem-se nesta categoria as grandes redes fixas, os cercos fixos e flutuantes, além dos covos, manzuás e potes. São equipamentos onde os peixes ou outras presas entram voluntariamente e ficam impedidos de escapar. Podem ser utilizadas iscas naturais ou artificiais e diversos são os materiais utilizados em suas confecções, como bambu, madeira, telas de arame e redes de náilon.

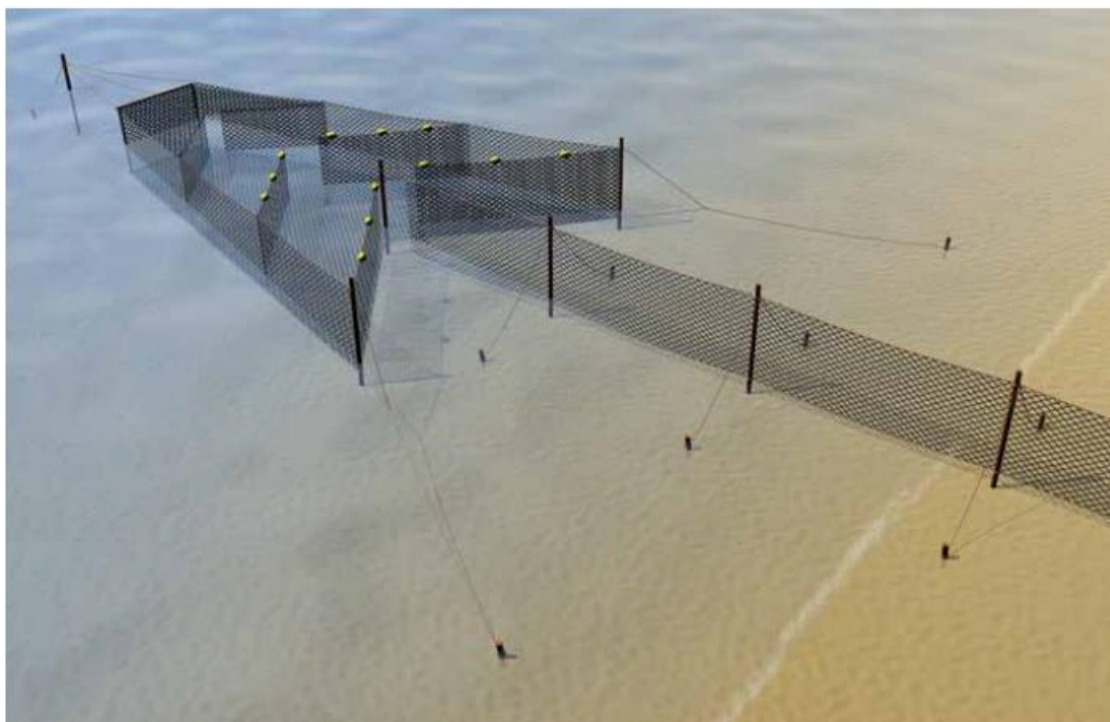
O cerco fixo ou curral (*barriers* ou *fences*) possui uma esteira de taquara e estacas de madeira que fixam no fundo. Esta é constituída de uma parede (espia) que serve de guia ao peixe, até um cercado onde o pescado fica aprisionado. Na junção da espia com o cercado, está situada a boca da entrada, que é uma abertura construída de forma a dificultar o retorno do peixe.





**Figura 2.13 – Cerco fixo.**  
**Fonte:** ICMBIO - CEPESUL/IBAMA (2017).

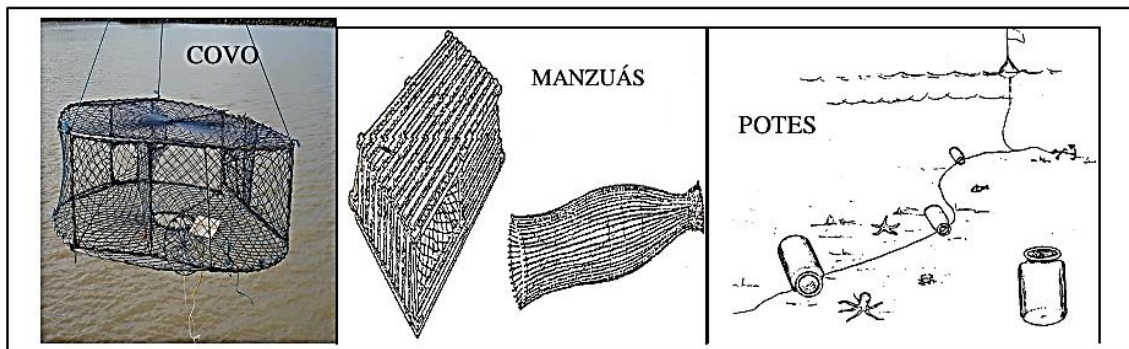
O cerco flutuante é similar ao cerco fixo no que diz respeito à forma e função. Geralmente são constituídos por grandes redes ancoradas ou fixadas por estacas, abertas na superfície e providas de dispositivos de diversos tipos para orientar e reter os peixes na armadilha (figura 2.14).



**Figura 2.14 – Cerco flutuante.**  
**Fonte:** SEAFISH (2015).

Os potes, covos ou manzuás são armadilhas transportáveis que possuem formato de gaiolas ou cestas, e podem ser feitas de diversos materiais (madeira, arames, telas de redes, etc). Possuem uma ou mais aberturas para a entrada do pescado e geralmente são

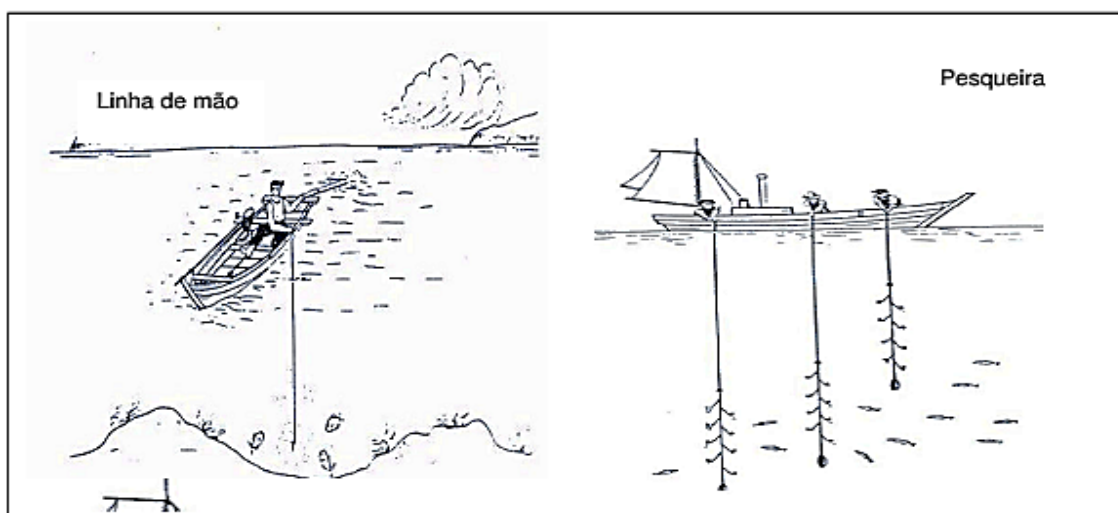
colocadas no fundo com ou sem iscas, individualmente ou em série, conectados por linhas à boias na superfície para a localização do aparelho.



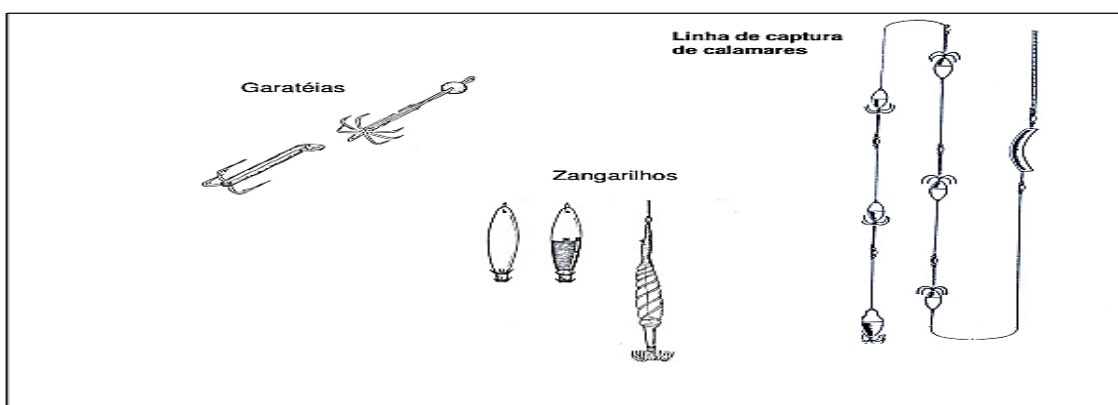
**Figura 2.15** – Armadilhas: covo, manzuá e potes.

**Fonte:** ICMBIO - CEPESUL/IBAMA (2017).

**9. Anzóis e Linhas:** são equipamentos para os quais os peixes são atraídos por iscas naturais ou artificiais, colocadas em anzóis no final ou no trajeto de uma ou mais linhas. Os anzóis também podem capturar os peixes pelo movimento. Incluem-se nesta categoria as técnicas de linha de mão e vara e linha, que podem ser operadas manual ou mecanicamente (figura 2.16). Neste tipo de pesca também estão inclusas as garatéias e zangarilhos, um petrecho de captura de calamares, onde as linhas com seus respectivos pesos são lançadas na água, e em movimentos contínuos, conhecidos como *jigging*, as mesmas sobem e descem simulando o movimento de pequenos peixes.



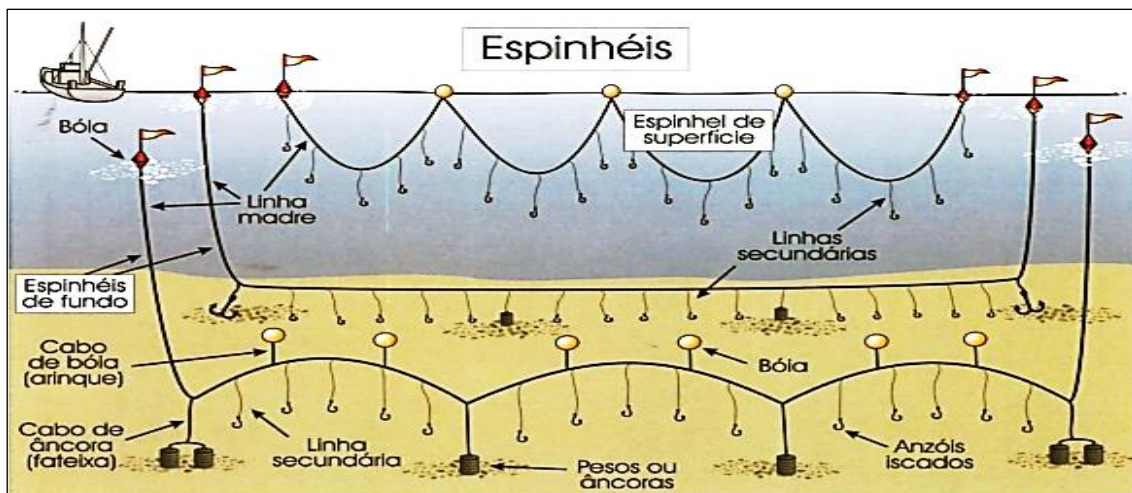
**Figura 2.16 – Linha de mão.**  
**Fonte:** ICMBIO - CEPESUL/IBAMA (2017).



**Figura 2.17: Garatéias e zangarilhos.**  
**Fonte:** ICMBIO - CEPESUL/IBAMA (2017).

O Espinhel é um tipo de pesca que utiliza longas linhas e anzóis com iscas para a atração dos peixes. É formado pela linha principal (linha madre), linhas secundárias (alças) e anzóis, podendo ser horizontal ou vertical. O espinhel fixo ou de fundo (*bottom longline*) é mantido fundeado por meio de poitas e sustentado por boias que também servem para sua localização. As extremidades da linha madre são presas aos cabos que ligam a boia às poitas (arinques).

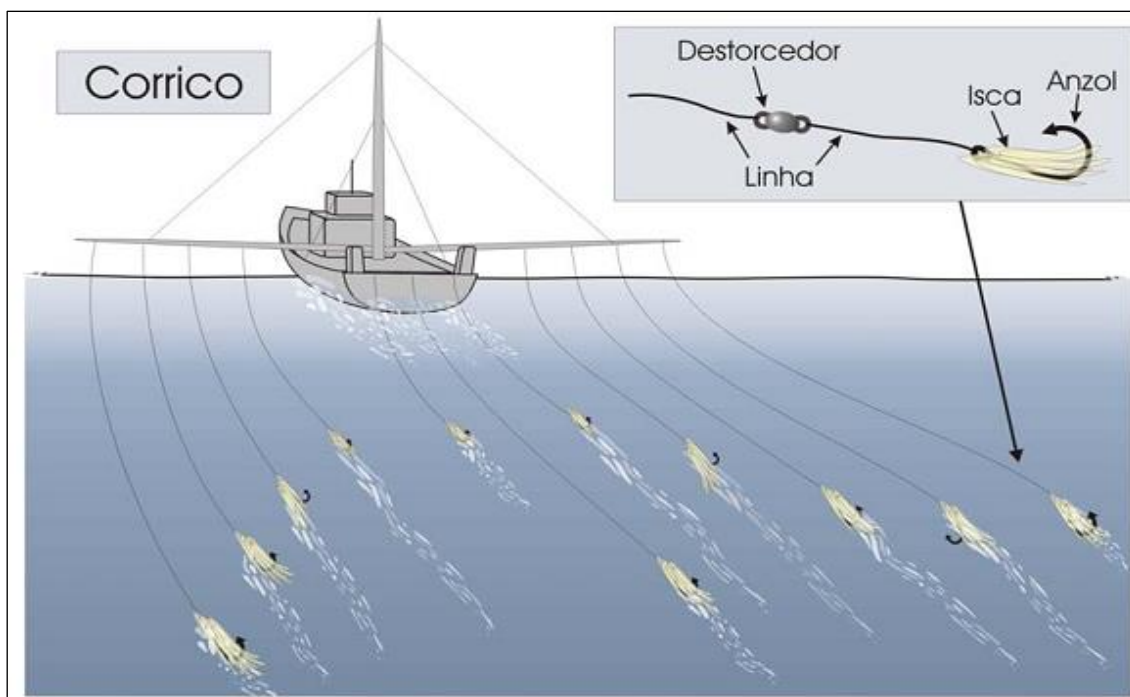
No espinhel flutuante ou de superfície (*22merican longline*), boias luminosas são colocadas nas extremidades do aparelho para facilitar sua localização, uma vez que tanto o barco como o aparelho ficam à deriva durante toda a operação de pesca e sujeitos à ação das correntes marítimas e ventos.



**Figura 2.18:** Espinhéis.  
**Fonte:** AFONSO (2013).

Outro tipo de pesca com a utilização de anzóis e linhas é conhecido como corrico ou linha de corso (*Trolling Lines*), que são linhas simples puxadas próximas a superfície ou a uma certa profundidade por uma embarcação. As embarcações que se destinam à pesca do corrico podem operar com uma ou mais linhas simultaneamente. No caso da pesca de corrico com o uso de múltiplas linhas, várias linhas com anzóis e iscas são arrastadas pelo barco em movimento em baixa velocidade, causando agitação e atraindo os peixes. Esquematicamente, o aparelho é constituído de linha, destorcedor e anzol, como mostra a figura 2.19.



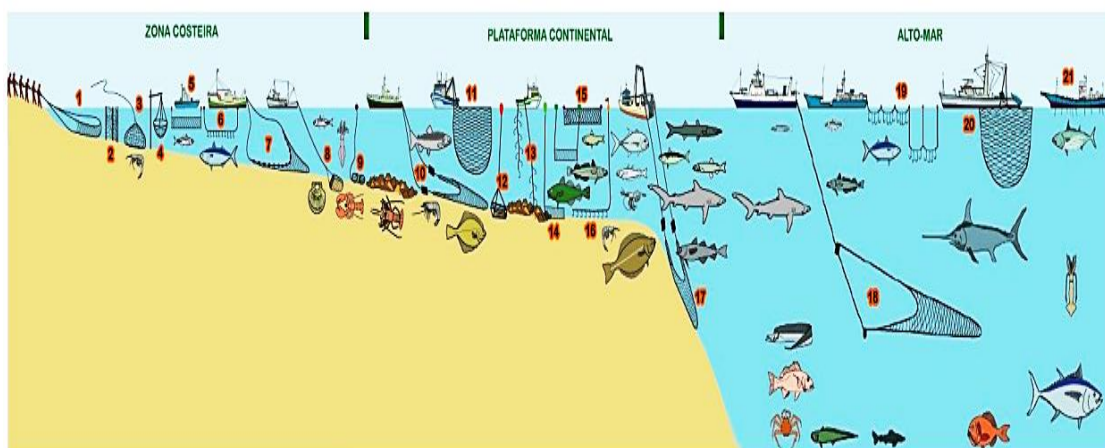


**Figura 2.19 – Pesca de corrico.**  
**Fonte:** HAIMOVICI (2007).

**10. Armas de arremesso:** incluem-se nesta categoria arpões, lanças, flechas, etc, normalmente arremessados ou lançados diretamente no peixe ou molusco com o intuito de feri-los ou mata-los.

**11. Dispositivos de grande alcance:** bombas, pesca com eletricidade, envenenamento com produtos químicos, etc, comumente proibidos em vários países.

Vale ressaltar que além das técnicas principais mencionadas, existem outras também descritas pela FAO, que constituem variações destas e são utilizadas mundialmente. A figura 2.20 apresenta uma representação visual resumida das diversas técnicas de pesca existentes.



**Figura 2.20** – Técnicas de pesca segundo a FAO.

1 – Arrasto de praia / 2 – Armadilhas de cerco ou currais / 3 – Tarrafas / 4 – Redes elevadiças / 5 – Redes de emalhe / 6 – Espinhel de superfície / 7 – Redes de cerco (traina) / 8 – Redes de arrasto / 9 – Covos ou potes / 10 – arrasto de fundo / 11 – Redes de cerco (trainas) / 12 – Manzuá / 13 – Linha de mão / 14 – Emalhe de fundo / 15 – Emalhe de superfície / 16 – Espinhel de fundo / 17 – Arrasto de fundo / 18 – Arrasto de meia-água / 19 – Espinhel de superfície / 20 – Rede de cerco / 21 – Navio de pesca com vara e linha.

**Fonte:** NÉDÉLEC; PRADO (1990)

No caso brasileiro, a Instrução Normativa Interministerial MPA/MMA nº 10/2011 (BRASIL, 2011) classifica os tipos de pesca de acordo com as seguintes definições presentes em seu artigo 2º:

**XI – Método de Pesca:** conjunto de Modalidades de Pesca distintas, que utiliza Petrechos de Pesca com características físicas e operacionais semelhantes;

**XII – Modalidade de Pesca:** processo ou forma de extração, coleta ou captura de recursos pesqueiros realizados em conformidade com as características estruturais e operacionais da embarcação de pesca e seus equipamentos, assim como dos petrechos empregados nas operações de pesca;

**XIII – Petrecho de Pesca:** instrumento, aparelho, utensílio, ferramenta ou objeto utilizado(s) nas operações de pesca;

Pela mesma Instrução Normativa, em seu artigo 3º, fica estabelecido que:

Art. 3º: As Modalidades de Pesca passíveis de autorização, nos termos desta Instrução Normativa, integram, conforme suas peculiaridades ou características operacionais, os Métodos de Pesca a seguir:

I – **Linha:** o que se realiza com o emprego de linha simples, com ou sem o auxílio de caniços ou varas, ou múltipla com anzóis ou garateias encastoados, do tipo espinhel, cuja operação requeira o auxílio de Embarcação de Pesca.

II – **Emalhe:** o que se realiza com o emprego de rede-de-espera não tracionada, à deriva ou fundeada, cujas operações de lançamento e recolhimento requeiram o auxílio de Embarcação de Pesca.

III – **Arrasto:** o que se realiza com o emprego de rede-de-arrasto tracionada, com recolhimento manual ou mecânico, cuja operação de pesca requeira o auxílio de Embarcação de Pesca.

IV – **Cerco:** o que se realiza com o emprego de rede-de-cerco, com recolhimento manual ou mecânico, cuja operação de pesca requeira o auxílio de Embarcação de Pesca.

V – **Armadilha:** o que se realiza com o emprego de petrechos dos tipos covos ou potes, cujas operações de lançamento e recolhimento requeiram o auxílio de Embarcação de Pesca.

VI – **Outros:** qualquer outra Modalidade de Pesca não mencionada nos incisos anteriores, cuja operação requeira o auxílio de Embarcação de Pesca.

## **2.3 Consumo de energia na pesca**

### **2.3.1 Panorama do consumo energético em embarcações pesqueiras**

A quantidade de energia requerida durante toda a cadeia produtiva da pesca, desde o processo de construção das embarcações até a chegada do pescado processado ao consumidor depende de diversos fatores: processos de fabricação e manutenção de embarcações, disponibilidade do recurso pesqueiro, a modalidade de pesca empregada, características e dimensões da embarcação (comprimento, formato do casco, comprimento na linha d'água, etc), tipo de motor e sistema de propulsão utilizado (diesel, elétrico, híbrido) tipo de armazenamento e processamento do pescado (gelo,

congelamento, câmara frigorífica), modo de transporte utilizado para levar o produto final até o consumidor, entre outros.

Entretanto, a energia consumida no processo de captura, ou seja, durante a atividade de pesca propriamente dita, representa a maior parcela da energia demandada em todo o processo produtivo, especialmente no uso de combustível para propulsão, representando entre 75% e 90% do consumo total (CHEILARI et al., 2013; GULBRANDSEN, 1986; TYEDMERS, 2004).

Porem, o perfil de consumo energético irá variar de acordo com o tipo de embarcação pesqueira. Segundo JOHNSON (2014), tipicamente, metade da energia é consumida no período de navegação, porem este consumo pode variar de modo significativo (entre 8% e 55%). A energia consumida para propulsão na operação de pesca pode variar entre 10% e 33%. Em algumas embarcações, as cargas hidráulicas podem consumir mais de 50% da energia total e em outras, os sistemas de refrigeração podem levar a um consumo de até 65% do total.

Normalmente, uma embarcação pesqueira atende suas demandas energéticas para os sistemas de propulsão, elétrico, hidráulico e de refrigeração através da queima de combustível fóssil. Portanto todos os custos destes tipos de energia estão associados ao custo com combustível.

Com uma frota pesqueira mundial de aproximadamente 4,6 milhões de embarcações em 2014, em que 64% são equipadas com motores de combustão interna (FAO, 2016), o consumo de combustível e sua consequente emissão de poluentes configura-se como uma variável chave para a viabilidade da atividade pesqueira.

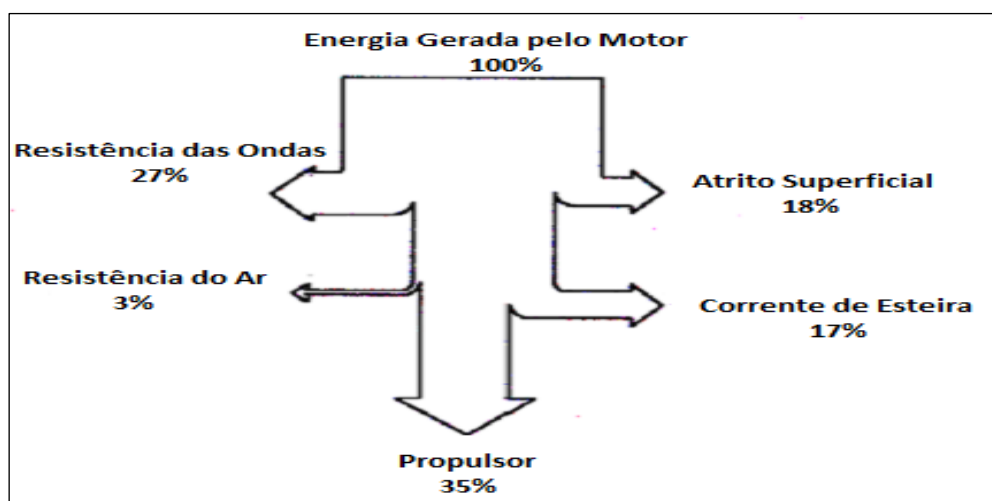
O custo com combustível é o principal item entre os custos operacionais de uma embarcação de pesca. Em nível global, os custos com combustíveis representam entre 30% e 50% dos custos totais das frotas pesqueiras e podem chegar a 20-30% do valor total da captura, com um consumo maior nas pescas em pequena escala e em países em desenvolvimento (BASURKO; GABIÑA; URIONDO, 2012; GABIÑA et al., 2016; PARKER; TYEDMERS, 2015; VAN BEEK; VAN DER STEENHOVEN, 2005).

O uso de combustível fóssil também acarreta crescente preocupação sobre os impactos no meio ambiente. Neste aspecto, a atividade de captura é a principal contribuinte para a poluição, mesmo quando são levados em consideração diferentes métodos de pesca, o que pode ser atribuído especificamente ao consumo de combustível e a consequente emissão de gases de efeito estufa (SCHAU et al., 2009). (CHEILARI et

al., 2013) estimaram para o ano de 2008, uma emissão de 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes a aproximadamente 3,7 bilhões de litros de combustível queimado por 54 diferentes frotas pesqueiras da União Europeia.

Ademais, toda a conversão da energia do combustível utilizado em trabalho útil possui suas ineficiências inerentes. Energia é perdida sob diversas formas: calor, ruído, vibração, fricção, conversão térmica, arrasto e resistência das ondas. Apenas cerca de um terço da energia gerada pelo motor chega ao propulsor. A maior parte (cerca de 60%) da energia é perdida sob a forma de calor, nos gases de escape, radiação e nos sistemas de refrigeração, e de 3% a 5% é perdida nos sistemas de transmissão. Já os propulsores possuem eficiência em torno de 55% - 65%, devido aos efeitos de deslizamento e cavitação (JOHNSON, 2014).

A figura 2.21 a seguir mostra a distribuição aproximada do uso da energia gerada a partir da queima de combustível fóssil em uma embarcação típica de pesca de arrasto de pequena escala (até 16 metros) no período de navegação (sem estar arrastando uma rede ou draga).



**Figura 2.21** – Perdas energéticas em barco de pesca de arrasto de pequena escala.

**Fonte:** (WILSON, 1999).

Segundo (WILSON, 1999), da energia gerada pelo motor, apenas 35% chega ao propulsor; 27% é usada para superar a resistência das ondas; 18% para vencer o atrito; 17% para superar a força de resistência no casco devido a corrente de esteira<sup>4</sup> e 3% para superar a resistência do ar.

<sup>4</sup> Quando o navio está em movimento, arrasta consigo certa massa de água, em virtude do atrito do casco na água, originando-se uma corrente chamada corrente da esteira. Ela depende da área de flutuação e, portanto, atinge sua maior velocidade e volume na linha-d'água no navio, decrescendo até a quilha, onde

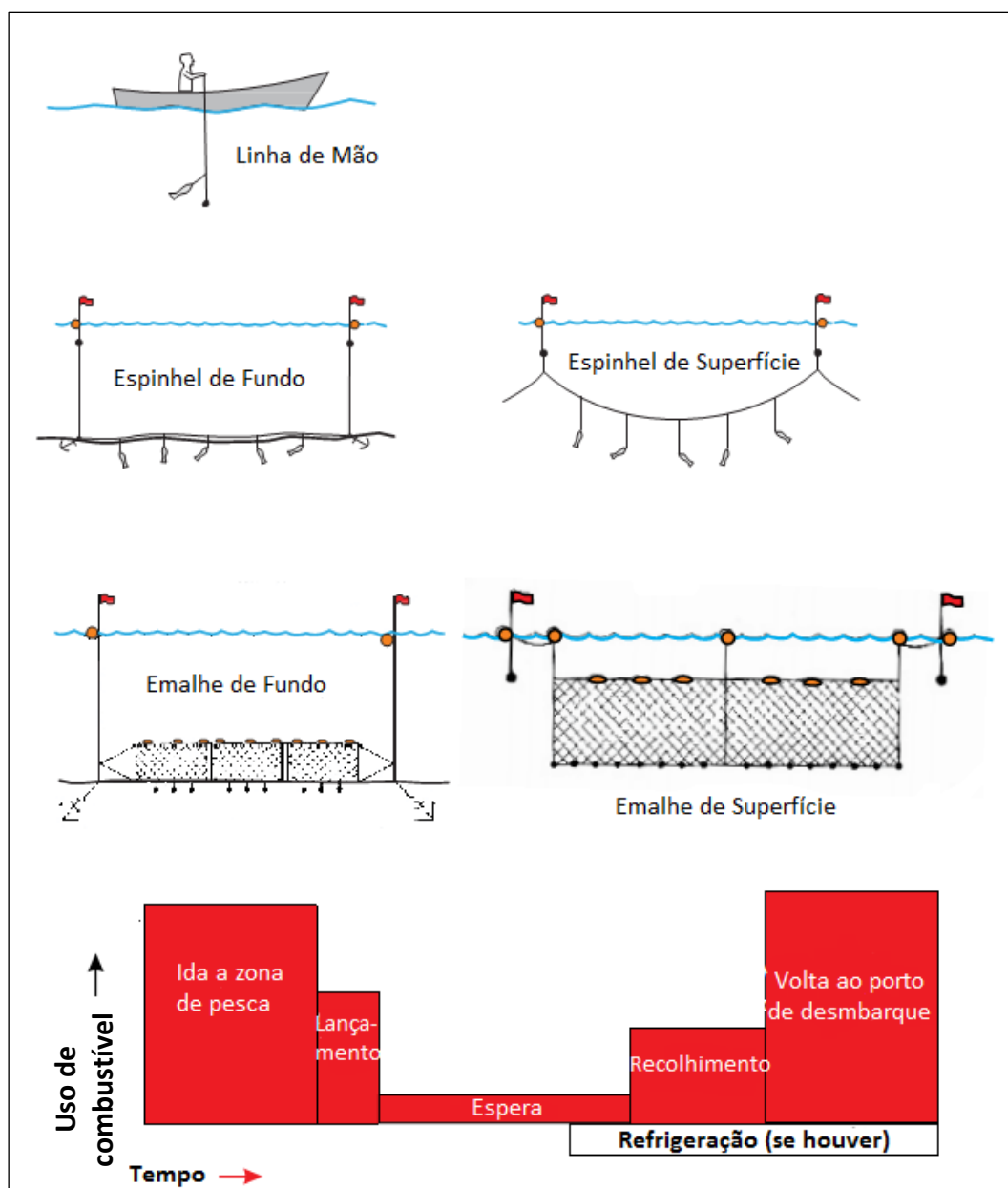
### **2.3.2 Indicadores utilizados na comparação do desempenho energético de diferentes modalidades de pesca**

Ao comparar diferentes modalidades de pesca, podemos observar perfis diferenciados de consumo de combustível, visto que cada uma possui um perfil operacional característico e utiliza petrechos específicos que irão influenciar em um maior ou menor uso de combustível.

As figuras 2.22 e 2.23 exemplificam os padrões de uso de combustível em algumas das principais artes de pesca utilizadas no mundo.

---

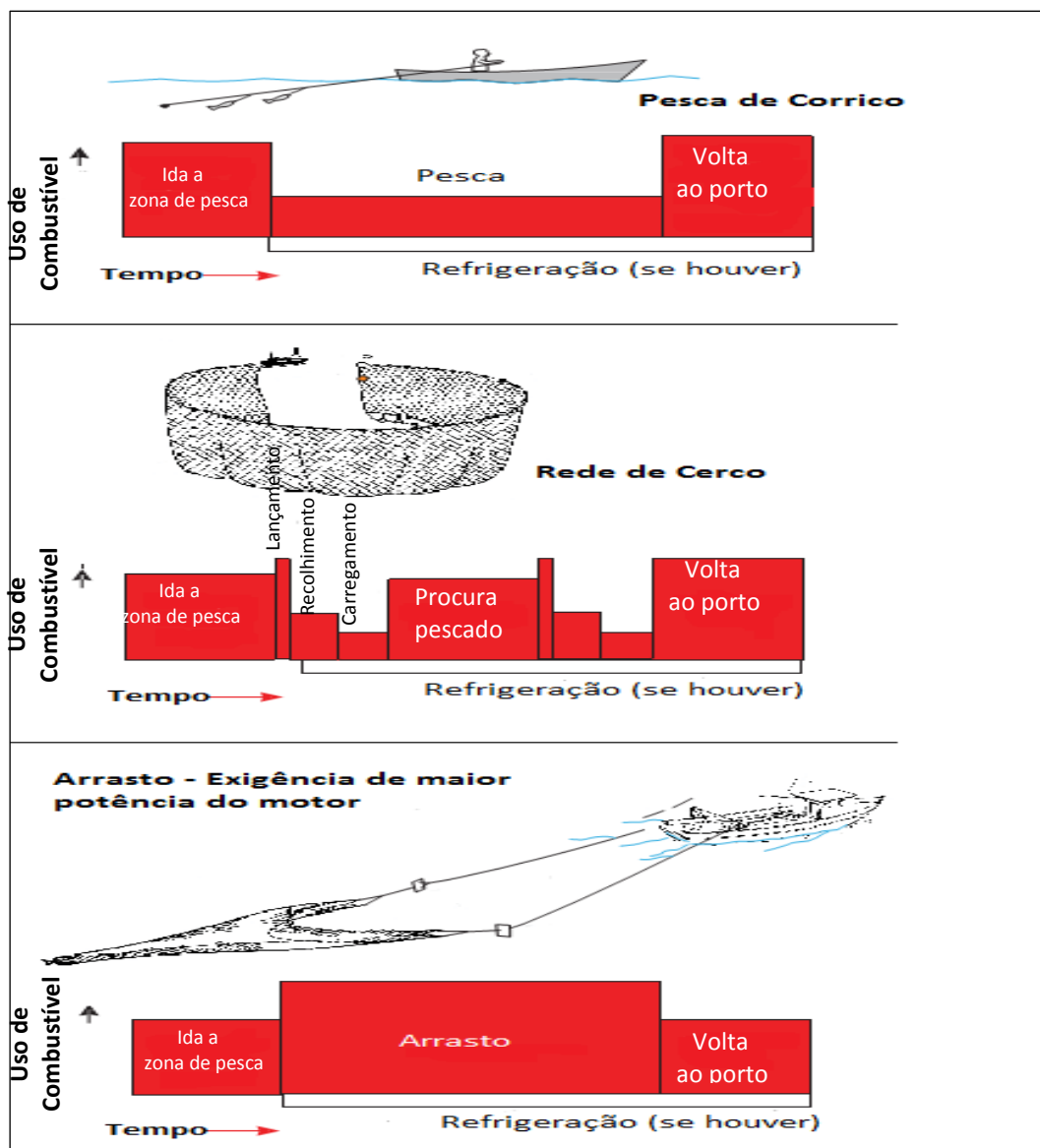
é praticamente nula. Na marcha AV a corrente da esteira origina-se na popa; ela reduz a velocidade dos filetes líquidos resultantes do movimento do navio e uma das consequências deste fato é que o propulsor não avança, em relação à água com a mesma velocidade do navio, mas sim com uma velocidade menor, designada como velocidade de avanço. (FONSECA, 2005).



**Figura 2.22** – Padrão do uso de combustível: Artes de pesca passivas.

**Fonte:** (GULBRANDSEN, 2012).

A figura 2.22 mostra que para artes de pesca passivas, em que o petrecho permanece estacionário no local de pesca, como nas modalidades de linha de mão, redes de emalhe e espinhéis, o maior uso de combustível se dá no momento em que a embarcação se desloca entre os portos e as zonas de pesca.



**Figura 2.23** – Padrão do uso de combustível: Artes de pesca ativas.  
**Fonte:** (GULBRANDSEN, 2012).

Entre as modalidades de pesca ativas, a pesca de corrico também apresenta maior consumo nas fases de deslocamento, mas apresenta um perfil mais equilibrado, com um consumo mais representativo no momento da pesca. Já a pesca de cerco apresenta um perfil de operações mais variado, com maior uso de combustível nas etapas de deslocamento até os locais de pesca e durante a fase de procura por peixes.

Por fim, a pesca de arrasto possui um perfil diferenciado das demais onde o processo de arrasto da rede consome maior quantidade de combustível devido a maior potência requerida do motor nesta etapa.



Segundo (BASURKO; GABIÑA; URIONDO, 2013), dois indicadores são usualmente utilizados para avaliar o desempenho energético do setor pesqueiro: litros de combustível consumido por tonelada de pescado desembarcado, e a produção de proteína comestível (EROI), (SCHAU et al., 2009; TYEDMERS, 2004). O primeiro fornece uma indicação da intensidade energética ou do uso de combustível de uma embarcação pesqueira, enquanto o último indica a relação entre o consumo de energia da embarcação e a produção de proteína comestível da espécie alvo (TYEDMERS, 2004).

O indicador do uso de combustível pode ser expresso em diferentes unidades ou denominações. Como exemplo, (SCHAU et al., 2009) o denominou como um coeficiente de uso de combustível, expresso em kg de combustível por kg de peixe capturado. (CHEILARI et al., 2013) utilizaram dois tipos de indicadores para representar o uso de combustível. Um denominado como intensidade energética (GJ/t) e outro como intensidade do uso de combustível (l/t), que expressam o total de energia e a quantidade de combustível requerido para capturar uma tonelada de pescado respectivamente. Conhecendo-se a relação entre o poder calorífico e densidade do combustível utilizado pela embarcação, é possível relacioná-los, já que um é uma função linear do outro.

(TYEDMERS; WATSON; PAULY, 2005) estimaram a intensidade global do uso de combustíveis (FUI – *fuel use intensity*) em 620 litros por tonelada de peixe capturado no ano de 2000, onde o consumo total da indústria pesqueira foi de 40 bilhões de litros. Em análises mais recentes, (PARKER; TYEDMERS, 2015) encontraram um valor médio de FUI de 639 litros por tonelada, considerando todos os dados globais disponíveis desde 1990 até 2014. A similaridade entre os resultados reforça as estimativas anteriores, visto que ambos utilizaram o mesmo banco de dados – FEUD – *Fisheries and Energy Use Database*.

A tabela 2.2 apresenta uma compilação dos registros da intensidade média do uso de combustível (IUC)<sup>5</sup> das principais artes de pesca, destinadas à captura de diversas classes de espécie alvo em diferentes regiões do mundo. Esta tabela é uma síntese da tabela apresentada em (PARKER; TYEDMERS, 2015), que utiliza dados extraídos do FEUD referentes a estudos de 1990 a 2014.

---

<sup>5</sup> Neste estudo, será utilizada a sigla IUC (Intensidade do Uso de Combustível) para se referir ao termo *Fuel Use Intensity* definido por (PARKER; TYEDMERS, 2015).

**Tabela 2.2** – Intensidade do uso de combustível de diferentes artes de pesca, espécies alvo e regiões.

Grupo Zoológico	Arte de Pesca	Região de Pesca	Intensidade Média do Uso de Combustível (l/t peixe)
Crustáceos	Arrasto de Fundo	Oceania	4.125
Crustáceos	Arrasto de Fundo	Europa	3.083
Crustáceos	Arrasto de Fundo	América do Norte	1.231
Crustáceos	Arrasto de Fundo	África	2.600
Flatfish <sup>(1)</sup>	Arrasto de Fundo	Europa	2.851
Flatfish	Arrasto de Fundo	América do Norte	1.084
Pelágicos <sup>(2)</sup> Pequenos	Arrasto de Meia-Água	Oceania	234
Pelágicos Pequenos	Arrasto de Meia-Água	América do Norte	101
Crustáceos	Redes de Emalhe	África	630
Flatfish	Redes de Emalhe	América do Norte	517
Flatfish	Redes de Emalhe	Europa	598
Finfish <sup>(3)</sup>	Redes de Emalhe	América do Norte	686
Pelágicos Grandes	Redes de Emalhe	Ásia	683
Pelágicos Grandes	Redes de Emalhe	Oceania	751
Pelágicos Pequenos	Redes de Emalhe	Europa	602
Pelágicos Pequenos	Linhas e Anzóis	Europa	323
Flatfish	Linhas e Anzóis	América do Norte	570
Finfish	Linhas e Anzóis	Europa	927
Finfish	Linhas e Anzóis	América do Norte	411
Finfish	Linhas e Anzóis	Oceania	549
Pelágicos Grandes	Linhas e Anzóis	Ásia	1.925
Pelágicos Grandes	Linhas e Anzóis	Oceania	1.676
Pelágicos Grandes	Linhas e Anzóis	Europa	1.745
Pelágicos Grandes	Linhas e Anzóis	América do Norte	1.495
Pelágicos Grandes	Redes de Cerco	Europa	447
Pelágicos Grandes	Redes de Cerco	Oceania	195
Pelágicos Grandes	Redes de Cerco	Ásia	156
Pelágicos Pequenos	Redes de Cerco	Oceania	89
Pelágicos Pequenos	Redes de Cerco	Europa	84
Pelágicos Pequenos	Redes de Cerco	América do Norte	42
Pelágicos Pequenos	Redes de Cerco	América Latina	10
Flatfish	Redes de Cerco	América do Norte	380
Crustáceos	Armadilhas	Oceania	3.803
Crustáceos	Armadilhas	América do Norte	783
Crustáceos	Armadilhas	Europa	834
Moluscos	Armadilhas	Europa	513

**Fonte:** Elaboração própria com base em tabela de (PARKER; TYEDMERS, 2015).

**Notas:** (1) *Flatfish* é uma categoria de peixes demersais, que possuem o corpo oval e achatado. Um exemplo característico deste tipo de peixe na costa brasileira é o Linguado.

(2) Peixes Pelágicos é uma forma de classificação dos peixes quanto ao seu comportamento relativamente à região das águas onde vivem. Os Pelágicos são peixes que vivem geralmente em cardumes, nadando livremente na coluna de água. Fazem parte deste grupo as sardinhas e as anchovas (pequenos pelágicos) e os atuns (grandes pelágicos).

(3) *Finfish* é um termo utilizado para caracterizar os “peixes com barbatanas” e diferenciá-los de outros organismos aquáticos que não são considerados “peixes” no sentido estritamente biológico do termo, como os crustáceos, mariscos e moluscos. Podem ser peixes ósseos, como o salmão, bacalhau e atum ou cartilagosos, como os tubarões e as raias.

Analisando a IUC com base nas espécies alvo e arte de pesca empregada, podem-se notar diferenças acentuadas.

Em muitos casos, diversas modalidades de pesca podem ser utilizadas para capturar uma mesma classe de espécies, resultando em grandes variações na eficiência energética (THRANE, 2008; TYEDMERS, 2001, 2004; ZIEGLER et al., 2010; ZIEGLER; HANSSON, 2003; ZIEGLER; VALENTINSSON, 2008). Como mostra a tabela 2.2, as espécies *flatfish* podem ser capturadas com redes de cerco, emalhe ou arrasto de fundo, onde o último pode exigir até 7,5 vezes mais combustíveis por quilograma de pescado que a pesca com redes de cerco.

Com relação à pesca de grandes peixes pelágicos, também são observadas variações na IUC. Enquanto a pesca com linhas e anzóis nas regiões da Europa, Oceania e Ásia utiliza uma média de 1.782 l/t, a pesca destas espécies com redes de cerco consome uma média de apenas 226 l/t nestas mesmas regiões.

Os diferentes perfis operacionais característicos de cada arte de pesca (figuras 2.23 e 2.24) podem ajudar a compreender estas variações encontradas na IUC.

Os tipos de pesca mais eficientes são aquelas destinadas à captura de pequenos peixes pelágicos, especialmente as que utilizam redes de cerco, com valores abaixo de 100 l/t, chegando até a 10 l/t.

Como destaca (SUURONEN et al., 2012), algumas artes de pesca ativas como redes de cerco são destinadas a captura de peixes que formam densos cardumes, permitindo a captura de centenas de toneladas de peixes em um único lance. Deste modo, o consumo de combustível destes tipos de pesca será pequeno em relação à quantidade de peixe capturado.

As pescarias com menor eficiência energética são aquelas destinadas à captura de crustáceos com armadilhas e arrasto de fundo. Outras formas de pescas mais intensivas no uso de combustível, são as destinadas à captura de grandes peixes pelágicos (principalmente atum) com anzóis e linhas, com uma média de 1.710 l/t. Este

método de pesca inclui o espinhel e outras formas de utilização de linhas e anzóis, como a pesca de corrico.

Em uma avaliação sobre a IUC da pesca de determinadas espécies de atum, com dados de 2009, (TYEDMERS; PARKER, 2012) encontraram uma IUC média de 1.069 l/t para a pesca de *longline*, enquanto que a pesca com rede de cerco apresentou uma IUC média de 368 l/t. A pesca de corrico e vara com linha consumiram 1.107 e 1.485 l/t, respectivamente.

Apesar de não ser possível discernir a partir dos dados deste estudo se a menor IUC da pesca de cerco é o resultado direto do tipo de arte de pesca utilizada ou das espécies-alvo, os resultados estão em linha com outros estudos os quais constataram que a pesca de cerco está associada com uma IUC relativamente menor, quando comparada com a pesca de espinhel (TYEDMERS; PARKER, 2012).

Uma potencial explicação para a alta IUC destas pescas está relacionada com os padrões migratórios do atum. Estas espécies possuem intenso processo de migração, o que faz com que as embarcações de corrico e varas com isca-viva, destinadas a sua captura, tenham que acompanhar a migração espaço-temporal desta espécie percorrendo maiores distâncias (BASURKO; GABIÑA; URIONDO, 2013). Isto torna as viagens de pesca mais irregulares em termos de duração e uso do motor, comparadas a outras artes de pesca, como o arrasto e as redes de emalhe.

Deste modo, ao avaliar o emprego de distintas artes de pesca na captura de determinadas espécies, além do padrão de uso do motor determinado pelo perfil operacional de cada modalidade de pesca, é preciso levar em consideração na análise da IUC, as características de concentração, dispersão e padrão de migração das espécies-alvo.

Já as variações na IUC entre regiões são menos evidentes que as encontradas entre as espécies alvo e artes de pesca utilizadas. Pode-se observar que a região da Oceania possui uma IUC relativamente alta, devido, principalmente, às pescas de crustáceos praticadas na Austrália, que são mais intensivas no uso de combustível (PARKER; TYEDMERS, 2015).

Contudo, diversos fatores além do tipo de arte de pesca utilizada e sua espécie alvo são essenciais para explicar as diferenças encontradas na IUC (CHEILARI et al., 2013; GULBRANDSEN, 2012; MESSINA; NOTTI, 2007; NOTTI et al., 2012): distância dos portos às zonas de pesca, estrutura e dimensões da embarcação

(comprimento, boca, material do casco, arqueação bruta, etc), características do motor (potência, consumo específico de combustível, idade, etc) e variações no preço da energia e do peixe.

Portanto, as mudanças observadas nas IUC ao longo dos últimos anos podem ser compreendidas segundo três aspectos principais: técnicos (relacionados às características e desenvolvimento tecnológico das embarcações e seus motores); econômicos (variações no preço da energia e do pescado, relacionados à viabilidade econômica da pesca) e aqueles relacionados à gestão da atividade pesqueira (p. exemplo, a redução da capacidade de pesca, de modo a aumentar o estoque de alguns recursos pesqueiros sobreexplorados).

O consumo de combustível de uma embarcação está fortemente relacionado com a potência entregue pelo seu motor, que está diretamente relacionada com a resistência ao avanço e sua velocidade<sup>6</sup>. Além disso, a geometria e deslocamento do casco e sua combinação com a caixa de redução e o propulsor são aspectos determinantes na quantidade de combustível requerida.

Pequenas modificações na forma do casco podem provocar variações significativas na resistência ao avanço de uma embarcação. Com isso, diferentes tipos de cascos de uma mesma frota irão exigir grandes variações na quantidade de potência requerida para alcançar a mesma velocidade, (MESSINA; NOTTI, 2007).

Com relação ao motor, os avanços tecnológicos experimentados nas últimas décadas permitiram alcançar reduções no consumo específico de combustível (a quantidade de consumo necessária para produzir a mesma potência). Pode-se estimar uma redução de aproximadamente 10% no consumo específico de combustível de motores novos nos últimos trinta anos, (NOTTI et al., 2012). Além disso, é importante ressaltar que, quanto maior a potência do motor, maior será o consumo de combustível. Isto torna fundamental a seleção adequada do motor para o sistema de propulsão de uma embarcação, de modo a otimizar o uso de combustível.

Já os preços do combustível e do pescado irão impactar sobremaneira a viabilidade econômica da pesca, devido a grande representatividade dos custos com combustíveis na composição dos custos totais da pesca.

---

<sup>6</sup> No capítulo 5 será explicado o conceito da resistência ao avanço total, suas principais componentes e sua relação com a velocidade e potência da embarcação.

O custo do combustível representa o principal item entre os custos operacionais da pesca. Em 2001, estimativas apontavam que o custo com combustível representava 21% da receita obtida com as capturas desembarcadas, enquanto que em 2008, durante o período de alta dos preços do combustível, este número aumentou para 50%, (MUIR, 2015).

Entre 1990 e 2005, os preços dos combustíveis mais baixos incentivaram o uso de motores de alta potência e artes de pesca como o arrasto e outras que operam em alto mar na captura de espécies de elevado valor, como o atum (GULBRANDSEN, 2012).

Baseado em uma série de estudos referentes à IUC, (TYEDMERS, 2004) identificou que a eficiência energética em diversas frotas pesqueiras ao redor do mundo teve um declínio no final da década de 90 e início dos anos 2000. Apesar dos desenvolvimentos tecnológicos em equipamentos de localização de estoques pesqueiros, esta redução de eficiência ocorreu principalmente devido à considerável sobrepesca de muitos estoques de recursos pesqueiros neste período (MUIR, 2015). Em análises referentes a frotas pesqueiras da Noruega, (SCHAU et al., 2009) chegaram a conclusões similares.

O aumento no preço do combustível a partir de 2008, juntamente com o declínio dos estoques de recursos pesqueiros, incentivou uma racionalização no uso de combustível com inovações tecnológicas, redução da capacidade de pesca e o emprego de artes de pesca com menor intensidade energética. Esta conjuntura tem provocado, nos últimos anos, uma tendência de queda na IUC de algumas frotas pesqueiras da Europa e Austrália (PARKER; TYEDMERS, 2015), mostrando uma reversão da tendência de alta observada nas décadas anteriores.

Por fim, pode-se concluir que os combustíveis fósseis apresentam importante papel no desempenho energético e financeiro do setor pesqueiro. A coleta e análise de dados relativos ao seu uso são fundamentais para fornecer indicadores de eficiência energética e rentabilidade econômica de frotas pesqueiras em nível global, nacional e regional.

Neste sentido, a IUC é um indicador de eficiência amplamente utilizado em diversos estudos realizados nos mais importantes países e centros de pesquisa do setor pesqueiro. Além disso, a sua avaliação e acompanhamento ao longo do tempo permitem identificar possíveis tendências futuras relativas à sustentabilidade da atividade pesqueira em termos do uso de energia.

### **3. Histórico, conceitos e definições das tecnologias de propulsão de embarcações**

Este capítulo irá abordar de forma resumida o conceito das principais instalações propulsoras utilizadas na indústria marítima. Primeiramente será apresentado um breve histórico até o panorama atual dos sistemas de propulsão usados por diferentes tipos de embarcações. Posteriormente, serão apresentadas as características e o funcionamento dos principais sistemas, onde um maior destaque será dado às instalações de propulsão elétrica, foco deste estudo.

#### **3.1 Evolução histórica e panorama atual**

A utilização do mastro a vela, usando o vento como elemento propulsor em substituição a força humana perdurou por um longo período, sendo utilizada nas Grandes Navegações e nos navios militares.

Porem, com a Revolução Industrial e a consequente evolução tecnológica na área bélica, as cargas levadas nos navios militares ficaram mais pesadas e demandaram maior potência da planta propulsora para se deslocar com maior velocidade e agilidade. Este novo cenário levou ao desenvolvimento da máquina a vapor no início do século XIX, sendo inserida em navios mercantes e logo em seguida aplicada nas esquadras armadas.

Durante a evolução dos navios a vapor, uma solução híbrida foi adotada, onde a vela ainda era utilizada junto com o vapor. Os motores a vapor exigiam grandes quantidades de carvão, o que diminuía o espaço para carga útil do navio. Entretanto, com o advento do hélice e a consolidação da tecnologia das máquinas a vapor, esta se firmou como principal meio de propulsão naval.

Até meados da década de 70, as turbinas a vapor eram utilizadas em navios que necessitavam de grandes potências e altas velocidades de serviço. A partir do desenvolvimento dos motores diesel (que conseguem atingir potências próximas das turbinas), mais econômicos, as turbinas ficaram restritas a navios de guerra, (FONSECA, 2005). Com o fim da Segunda Guerra Mundial e a necessidade de incentivar o crescimento de economias destruídas, investiu-se muito na indústria de motores para área automobilística. Esse processo de desenvolvimento da tecnologia

diesel possibilitou pesquisas para se substituir as pesadas plantas propulsoras a vapor por motores diesel mais compactos, de maior confiabilidade e manutenção mais econômica.

O primeiro motor a diesel usado em navio data de 1912. Em 1940, cerca de 30% de toda a tonelagem mundial transportada por meios marítimos, ocorria com sistema de propulsão a motor diesel, (PINHEIRO, 2013).

Entretanto, como destaca (FILHO, 2011), a predominância das instalações propulsoras diesel teve início na década de 1960, quando os motores de baixa rotação passaram a operar com óleo pesado. Antes disso, apesar da ligeira vantagem de eficiência térmica dos motores diesel, o preço de um combustível mais caro – óleo diesel marítimo – não era suficiente para competir com as instalações de turbina a vapor, que vieram a substituir as antigas máquinas a vapor com eficiência térmica muito baixa. O domínio da propulsão diesel nos navios de grande porte com motores de baixa rotação foi associado a dois fatores principais: baixo consumo específico de combustível e o emprego de óleo pesado, combustível de menor preço por unidade de energia comparado ao diesel (FILHO, 2011).

Também no final da Segunda Guerra, duas novas formas de propulsão começaram a ser viabilizadas pela evolução tecnológica pós-conflito: a turbina a gás e o reator nuclear. A primeira foi derivada das turbinas aeronáuticas, que foram marinizadas para poderem ser acopladas ao eixo da embarcação, usar óleo diesel e trabalharem com outras máquinas de forma combinada (esse tipo de uso é predominante em embarcações militares, para possibilitar pronta resposta nas operações que requerem alta velocidade).

Já a segunda derivou dos reatores usados em centrais de produção de energia elétrica. A energia térmica do vapor de água aquecido pela reação nuclear é transformada em energia cinética para movimentar a turbina a vapor e assim girar o eixo do gerador. No caso de aplicações marítimas, o torque transferido ao eixo faz girar o hélice e movimentar a embarcação. Porém, mesmo diante das vantagens operacionais verificadas no uso da propulsão nuclear em navios militares, os custos elevados e a crescente polêmica em relação à questão ambiental acabou por restringir o uso deste tipo de propulsão aos submarinos e aos porta-aviões (SOUZA, 2009).

Hoje em dia, a instalação diesel mecânica é o sistema propulsor dominante, com os sistemas de propulsão elétrica em expansão. Como cita (FILHO, 2011), atualmente há uma grande variedade de modelos de motores disponíveis para seleção de instalações



propulsoras, com uma ampla faixa de dimensões, potência e rotação, tendo em vista as demandas de potência dos diferentes tipos de embarcações.

A propulsão com turbinas a vapor ainda é usada nos navios de grande porte, especialmente nos navios que transportam gás natural liquefeito (LNG *Carriers*). Os gases são usados, inclusive, para alimentar as caldeiras que produzem o vapor necessário para as turbinas de propulsão. Há também um pequeno, mais crescente número de aplicações com turbinas a gás, sejam isoladas ou combinadas com outro tipo de propulsão. Segundo (FILHO, 2011), há um grande potencial de uso das turbinas a gás em navios comerciais, devido ao aumento do preço dos combustíveis e ao sucesso das turbinas modernas de alta eficiência. Com isso, tem-se observado sua utilização crescente em navios porta contêineres e navios de transporte de gás.

Com relação à propulsão elétrica cabe ressaltar que, apesar de sua recente expansão, não pode ser considerada uma tecnologia atual, pois o seu uso data do final do século XIX. A primeira embarcação movida com propulsão elétrica e um sistema de baterias foi construída em 1881 por Gustave Trouvé na França, conhecida como Eureka (NSBA, 2015).

Nesta mesma época, alguns países como Rússia e Alemanha também realizavam experimentos dirigidos à concepção de embarcações com propulsão elétrica.

Na navegação fluvial sua aplicação foi amplamente difundida nos Estados Unidos, quando a Marinha americana construiu os primeiros “*lightships*”, navios faróis que usavam propulsão elétrica para operarem nas hidrovias americanas no período de 1913 a 1938 (U.S. COAST GUARD, 2015).

Entretanto, por volta de 1940, melhorias tecnológicas foram obtidas no setor de metalurgia e na manufatura de engrenagens redutoras, com peso e volume menores e melhores resultados no desempenho acústico dos equipamentos. Com isso, o desenvolvimento da tecnologia dos sistemas de engrenagens de dupla redução para aplicações no setor naval e militar passou a apresentar preços competitivos nos Estados Unidos. Aliado a este fator, algumas desvantagens da propulsão elétrica existentes naquela época, como maior peso, volume e menor eficiência energética, inibiram drasticamente a expansão do seu uso em detrimento da propulsão mecânica convencional, (DOYLE; STEVENS; ROBEY, 1999).

Durante as décadas de 1980 a 1990, devido aos avanços tecnológicos na área de Eletrônica de Potência, a transmissão elétrica de energia tornou-se mais eficiente e

compacta, possibilitando o retorno do emprego da propulsão elétrica em diversas classes de navios, como quebra-gelos, oceanográficos, navios tanque e transatlânticos, (ARRINGTON, 1998).

A partir de 1990, a empresa Asea Brown Boveri (ABB) desenvolveu um sistema de propulsão encapsulada (POD – *Podded Propulsion*), sistemas elétricos com propulsores azimutais localizados na parte externa do casco, denominados como Azipod (PEREIRA, 2007). O sistema Azipod consiste basicamente em um motor elétrico, alojado dentro de um “pod” com formato hidrodinâmico adequado para fornecer melhor escoamento do fluido, conectado ao hélice. Este conjunto possui capacidade para girar 360° em torno do seu próprio eixo, providenciando um empuxo multidirecional e consequente melhora da manobrabilidade.

Segundo (ADNANES, 2003; ALVES, 2007; DUNLOP, 2015), atualmente tem sido crescente a utilização do sistema de propulsão elétrica em diversos tipos de embarcações. Inicialmente adotada em projetos de quebra-gelos e navios especializados, a propulsão elétrica tem conquistado novos mercados, como navios de cruzeiros, navios sonda com posicionamento dinâmico para perfuração de poços de petróleo, balsas de travessia, embarcações militares, navios de suprimento *offshore*, embarcações pesqueiras, entre outros. Com isso, há diversas pesquisas e projetos em andamento relacionados ao uso de propulsão elétrica nas mais diversas áreas de aplicação, como em (HANSEN; LYSEBO, 2004; HIDEKI; HIROAKI; AIICHIRO, 2011; PEREIRA, 2007; SCHOEPING, 2014; SOUZA, 2013). No caso de projetos associados a embarcações pesqueiras, pode-se citar: (FERNÁNDEZ et al., 2010; LOGASON, 2015; MONTENEGRO; RODRÍGUEZ, 2012; NOTTI et al., 2012).

Entre os principais motivos para a expansão do uso da propulsão elétrica, pode-se citar: redução no consumo de combustíveis e emissão de poluentes; diminuição de ruídos, vibrações e menores custos de manutenção<sup>7</sup>.

### **3.2 Propulsão marítima: conceito e funcionamento**

Propulsão naval é qualquer meio de produção de energia mecânica que permita o deslocamento de embarcações. Portanto, sua principal função é produzir energia

---

<sup>7</sup> As principais vantagens associadas ao uso da propulsão elétrica serão detalhadas no item 3.3.4.4

suficiente para superar as forças de resistência que atuam na embarcação, de modo a permitir o seu avanço na velocidade de serviço<sup>8</sup> requerida.

Resumidamente, uma instalação propulsora pode ser definida como aquela constituída por um conjunto integrado de máquina principal (*prime mover*), sistema de transmissão e elemento propulsor.



**Figura 3.1:** Principais componentes do sistema de propulsão.

A função primordial da máquina principal é fornecer energia mecânica ao propulsor. Esta pode ser uma turbina a vapor, turbina a gás, motor diesel ou motor elétrico.

Geralmente o motor responsável pela geração de energia é do tipo diesel, contudo máquinas alimentadas por outros tipos de combustíveis também são utilizadas, como turbinas a gás ou a vapor. Ciclos combinados de turbinas também podem ser encontrados para fins específicos. Entretanto, a mais tradicional fonte primária de energia é o motor alimentado a diesel ou óleo pesado (EL-GOHARY; EL-SHERIF, 2004). Este tipo de motor, classificado como motor de combustão interna (MCI) é responsável por converter, por meio da combustão, a energia armazenada na forma de ligações químicas em energia mecânica, capaz de imprimir movimento ao hélice.

Os motores de combustão interna podem ser classificados segundo vários aspectos: a propriedade do gás na admissão (ar ou mistura ar-combustível); o ciclo de trabalho (2 tempos ou 4 tempos); sua rotação (baixa, média ou alta); sua utilização (estacionários, industriais, veiculares e marítimos); entre outros.

Quanto à utilização, os motores usados na propulsão de embarcações são classificados como marítimos. Este tipo de motor é definido como aquele destinado a propulsão de barcos e máquinas de uso naval. Na nomenclatura marítima, são chamados de MCP (Motor de Combustão Principal). Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação existem uma vasta gama de modelos com características

---

<sup>8</sup> A velocidade de serviço de uma embarcação corresponde à sua velocidade média mantida em condições de ondas e ventos normais.

apropriadas, conforme o uso (lazer, trabalho, comercial leve, pesado, médio-contínuo e contínuo).

Além dos MCPs, os navios são equipados com Motores Auxiliares (MCAs), que geram a energia elétrica consumida a bordo. Estes motores são acoplados a geradores, que fornecem a energia elétrica necessária à alimentação de todos os equipamentos e sistemas da embarcação. Em embarcações de médio e grande porte também há a possibilidade da instalação de um gerador acoplado ao eixo do MCP, que gera energia elétrica durante o tempo de navegação. Seu funcionamento consiste em absorver energia mecânica proveniente da rotação de qualquer eixo. Assim, não necessita de combustível para seu acionamento, pois o combustível queimado para acioná-lo já seria usado de qualquer maneira para acionar o propulsor.

Além de gerar energia quando a embarcação estiver navegando, o gerador de eixo também funcionará em situações de operação em posicionamento dinâmico, quando a embarcação se encontra em condição de “passo zero”. Neste caso, haverá absorção de potência do motor principal pelo gerador e pelo propulsor, mesmo sem estar gerando empuxo.

Entretanto, para a geração de energia a frequência de rotação do eixo deve ser constante, ocasionando redução de eficiência do hélice (DUNLOP, 2015).

O sistema de transmissão é um subsistema do sistema de propulsão, constituído por eixos, caixas de redução de velocidade e rolamentos. Suas principais funções são:

- 1 – Transferir a energia mecânica gerada pela máquina principal até o propulsor;
- 2 – Transferir o empuxo gerado pelo propulsor ao casco da embarcação.

Quanto ao tipo de transmissão, são usadas duas configurações. Os sistemas com acoplamento direto e os sistemas com redutores de velocidade. O primeiro é utilizado em motores diesel de baixa rotação, onde a máquina principal é acoplada diretamente ao propulsor através do eixo. No sistema com redução, as caixas redutoras de velocidade tem a função de reduzir a velocidade de rotação do motor para corresponder com a velocidade de rotação requerida pelo hélice (EL-GOHARY; EL-SHERIF, 2004).

O propulsor é responsável por converter energia mecânica de rotação entregue pelo motor em energia mecânica para a propulsão da embarcação, onde o hélice é o mais comum. Em geral, dois tipos de hélice são utilizados; os de passo fixo (ou FPP na sigla em inglês – *Fixed Pitch propeller*), em que as pás estão fixas no cubo do hélice, e os de passo controlável (CPP – *Controllable Pitch propeller*), em que é permitida a

variação do passo para as diferentes condições de carregamento no hélice. Outras variantes são os hélices contra rotativos, os hélices com dutos e a propulsão encapsulada (POD – *Podded Propulsion*), propulsor cicloidal (propulsor de eixo vertical também conhecido como propulsor *Voith Schneider*). Para mais informações sobre estes tipos de propulsores ver: (MOLLAND; TURNOCK; HUDSON, 2011; PINHEIRO, 2013; SCHOEPING, 2014; TRINDADE, 2012).

### **3.3 Definição dos principais sistemas propulsivos de embarcações**

Os principais sistemas de propulsão marítima, à exceção das velas e remos, podem ser classificados nos seguintes tipos: vapor (máquinas alternativas ou turbina a vapor), diesel (diesel convencional ou diesel elétrico), híbrido, turbina a gás, nuclear e sistemas combinados.

#### **3.3.1 Sistemas a vapor**

Em embarcações de propulsão mecânica, a energia mecânica necessária à propulsão é fornecida por máquinas, que podem ser máquinas a vapor ou motores de combustão interna. No caso dos sistemas a vapor, as máquinas que irão transmitir o movimento de rotação ao hélice são alimentadas pelo vapor d' água produzido pela queima de combustíveis fósseis.

As máquinas a vapor são classificadas como máquinas de combustão externa, ou seja, é aquela em que a queima do combustível ocorre fora dela ou, mais precisamente, numa caldeira onde o calor da combustão é utilizado para produzir o vapor d' água que vai movimentar a máquina, como as antigas máquinas alternativas e as turbinas a vapor.

Os sistemas a vapor, de uma forma geral, se baseiam na geração de vapor por uma caldeira, a qual irá movimentar através de uma engrenagem redutora, o eixo do navio. Neste caso, a instalação propulsora pode ser dividida em duas partes: as caldeiras, que produzem vapor, e as máquinas alternativas ou turbinas, que o utilizam, transformando o calor em trabalho.

A geração de vapor nas caldeiras se dá através da queima de combustíveis fósseis (óleo combustível, carvão, gás natural liquefeito – GNL), ou por reações nucleares, frequentemente encontradas em submarinos nucleares<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> As características da propulsão nuclear serão apresentadas no item 3.3.5.

Entretanto, segundo (FONSECA, 2005) nas caldeiras queima-se quase exclusivamente o óleo combustível, só se encontrando o carvão em navios antigos ou em pequenos navios de regiões onde este combustível seja abundante e barato. O gás natural liquefeito geralmente é utilizado nos LNG *carries*.

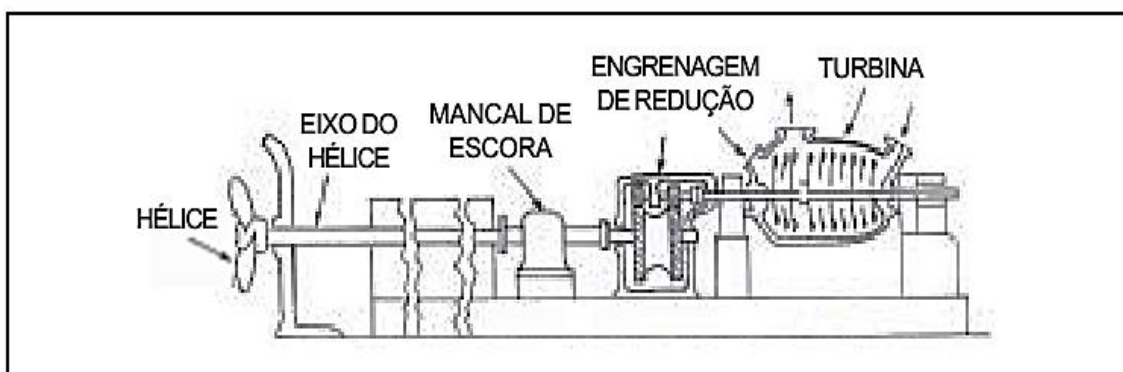
#### 3.3.1.1 Máquinas alternativas

Representam o tipo mais antigo de instalação propulsora, que substituiu rapidamente o uso das velas. Possuem baixa velocidade de rotação e, ao contrário das turbinas, são ligadas diretamente ao eixo do hélice.

#### 3.3.1.2 Turbinas a Vapor

É definido como um sistema em que uma turbina a vapor é acoplada diretamente ao eixo propulsor da embarcação por meio de redutores de velocidade (figura 3.2), que transmitem a potência gerada pela turbina em alta velocidade para o propulsor em velocidade de rotação muito menor. Diferentes tipos de redutores podem ser utilizados, como os redutores comuns e planetários.

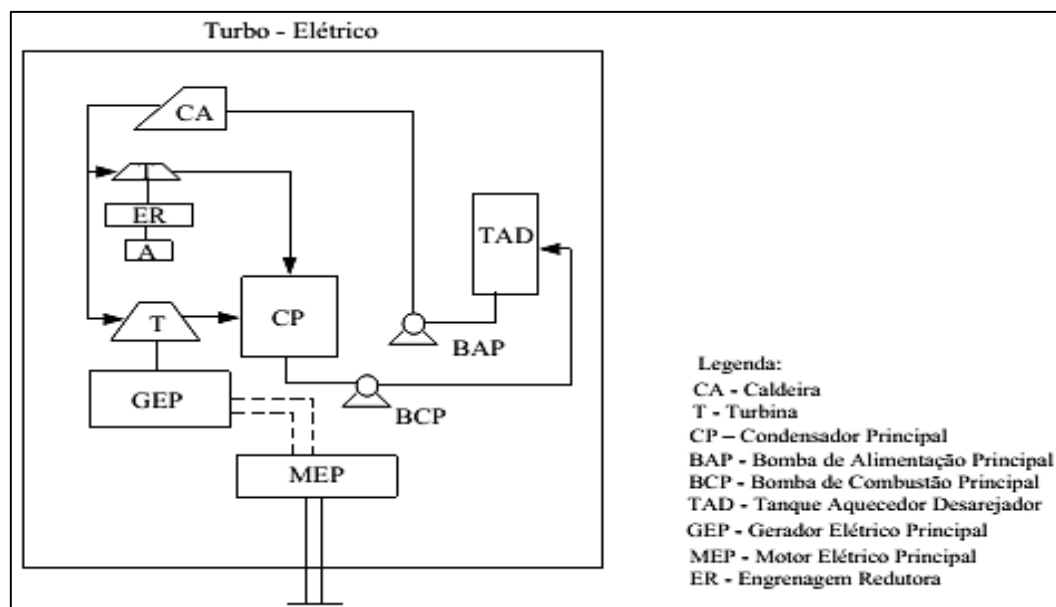
Usualmente é aplicada quando se necessita de grandes potências. Como são montadas horizontalmente, as turbinas a vapor ocupam um espaço menor que as máquinas alternativas, principalmente em altura, significando melhor compartimentação do navio. Outras vantagens são os baixos índices de vibração e peso menor. Uma desvantagem considerável é o seu consumo de combustível, maior que o de um motor diesel, além da baixa densidade de potência (relação potência/peso).



**Figura 3.2:** Turbina a Vapor.  
**Fonte:** (FONSECA, 2005).

Existem sistemas de vapor que trabalham no modo turbo-elétrico (figura 3.3). Nesses sistemas, a turbina, que é acionada pelo vapor da caldeira, movimenta um gerador elétrico, o qual alimentará um motor elétrico principal (MEP), fazendo o hélice

girar (PINHEIRO, 2013). Este conjunto possui maior flexibilidade de instalação, pois as turbinas podem ser colocadas em qualquer local, mesmo longe dos eixos propulsores. Também tem a vantagem de eliminar a turbina de marcha AR, pois a inversão de marcha se faz por meio das conexões elétricas.



**Figura 3.3:** Sistema turbo elétrico.

**Fonte:** (PINHEIRO, 2013).

### 3.3.2 Turbinas a gás

As turbinas a gás possuem um princípio de operação diferente dos motores de combustão interna tipo diesel. Nestes motores as três fases – compressão, combustão e expansão – ocorrem dentro de uma mesma estrutura, o cilindro, de modo que impulso motor é produzido, num ciclo que se repete. Nas turbinas a gás, ao contrário, a compressão se dá numa unidade, onde a massa de ar passa a um queimador e se mistura com o combustível pulverizado, e a expansão se faz por meio de uma ou mais turbinas onde parte da energia se converte em potência útil. Assim, como nas turbinas a vapor, a potência gerada se aplica ao eixo de modo contínuo.

Suas principais vantagens são a ótima relação potência/peso, além de uma eficiência superior ao motor diesel, pois são derivadas das turbinas de aviação, conduzindo a tamanhos compactos e leves. Possuem fácil instalação e acesso para manutenção, baixo ruído e vibração, além de emitirem menos poluentes que o motor diesel, (FILHO, 2011).

Devido a sua relação potência/peso e a natureza compacta de suas instalações, vêm sendo aplicada em navios militares e porta-containers de alta velocidade, balsas de

travessia e navios de transporte de gás natural liquefeito, (FILHO, 2011; SCHOEPING, 2014).

### 3.3.3 Sistema de propulsão diesel

O princípio de funcionamento dos motores diesel consiste na transformação da energia química contida no combustível em energia mecânica do eixo.

O sistema de propulsão diesel é definido como aquele no qual os propulsores são acionados diretamente por uma transmissão mecânica acoplada a um ou mais motores diesel. São os mais adequados para navios de velocidade moderada e constante.

Quanto à forma de acoplamento ao hélice, os tipos de instalações diesel podem ser:

a) **Propulsão direta** – Quando os motores e o hélice operam com um bom rendimento a mesma velocidade de rotação, os motores são acoplados diretamente ao hélice, sem a necessidade de uma caixa redutora. Assim, motores de baixa velocidade podem acionar diretamente o eixo, tendo a vantagem de consumir menos combustível que os motores de grande velocidade.

b) **Propulsão indireta com engrenagem redutora** – Quando os motores operam com um bom rendimento a uma velocidade de rotação superior a do hélice, é necessário utilizar uma caixa redutora. Se a rotação é alta o hélice tende a perder potência. E um hélice eficiente significa um ganho de energia para a embarcação. De acordo com (TRINDADE, 2012), as principais funções da caixa redutora consistem na: determinação da velocidade e do sentido de rotação do hélice, além da capacidade de inversão; proporcionar uma forma de acoplamento, permitindo estabelecer e interromper a transmissão de potência entre o motor e o hélice; compatibilizar a rotação do motor com a menor rotação e maior torque requeridos no propulsor e; ser capaz de absorver o impulso recebido do hélice.

Apesar da necessidade de utilizar caixas redutoras, os motores de média e alta rotação possuem menor peso e tamanho, além de maior flexibilidade de instalação que os sistemas de propulsão direta com motores de baixa rotação.

As vantagens dos sistemas de propulsão diesel em comparação com as máquinas a vapor são as grandes economias de peso e espaço, pois não é necessária a instalação de caldeiras e condensadores, além de dispensarem a água de alimentação das mesmas e consumirem menos combustíveis. E, durante as estadias no porto o consumo dos



motores é nulo, enquanto que as caldeiras dos navios a vapor devem ser mantidas sob pressão.

Além disso, os motores diesel apresentam as seguintes vantagens (EL-GOHARY; EL-SHERIF, 2004): podem operar com combustíveis residuais, como o óleo combustível pesado, com menor preço por unidade de energia comparado ao diesel; fácil manutenção devido a sua tecnologia simples, alta confiabilidade e menores custos operacionais.

Suas principais desvantagens são: emissão de poluentes, vibrações e ruídos, menor relação potência/peso (comparada com as turbinas a gás).

A figura 3.4 abaixo apresenta uma ilustração esquemática da configuração de um sistema diesel mecânico com a utilização de caixa redutora.



**Figura 3.4:** Propulsão diesel mecânica.

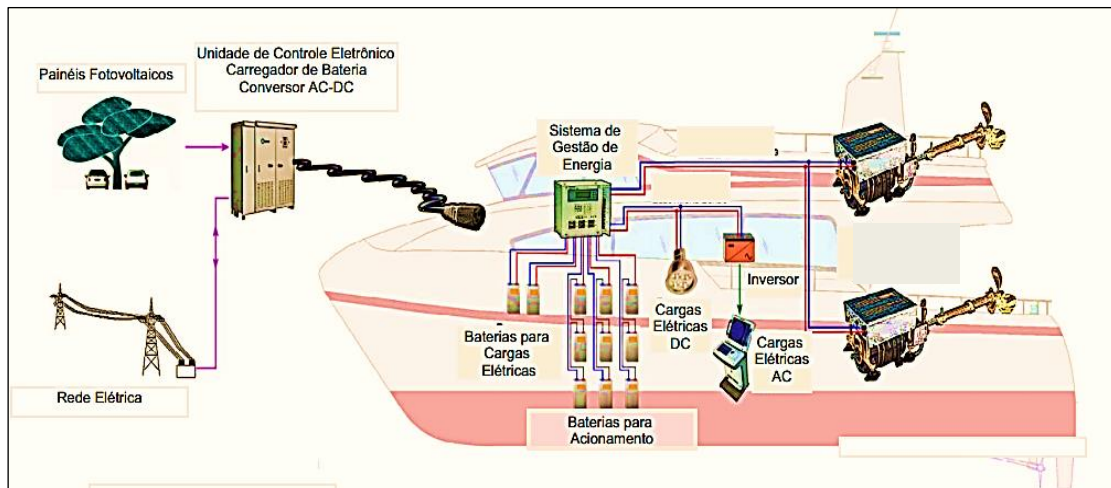
**Fonte:** (SOUZA, 2013).

### 3.3.4 Sistemas de propulsão elétrico e híbrido

Esta seção irá definir o sistema de propulsão puramente elétrico, o sistema diesel elétrico, assim como os sistemas de propulsão híbridos, o qual possuem diferentes possibilidades de configurações e perfis operacionais mais complexos.

#### 3.3.4.1 Sistema de propulsão puramente elétrico

A propulsão puramente elétrica consiste em um banco de baterias que fornece energia para um motor elétrico. Essas baterias podem ser carregadas na rede de energia elétrica quando a embarcação estiver no porto ou através de uma fonte de energia alternativa localizada em terra ou a bordo da embarcação, como painéis solares ou turbinas eólicas.



**Figura 3.5:** Configuração de um sistema de propulsão puramente elétrico.

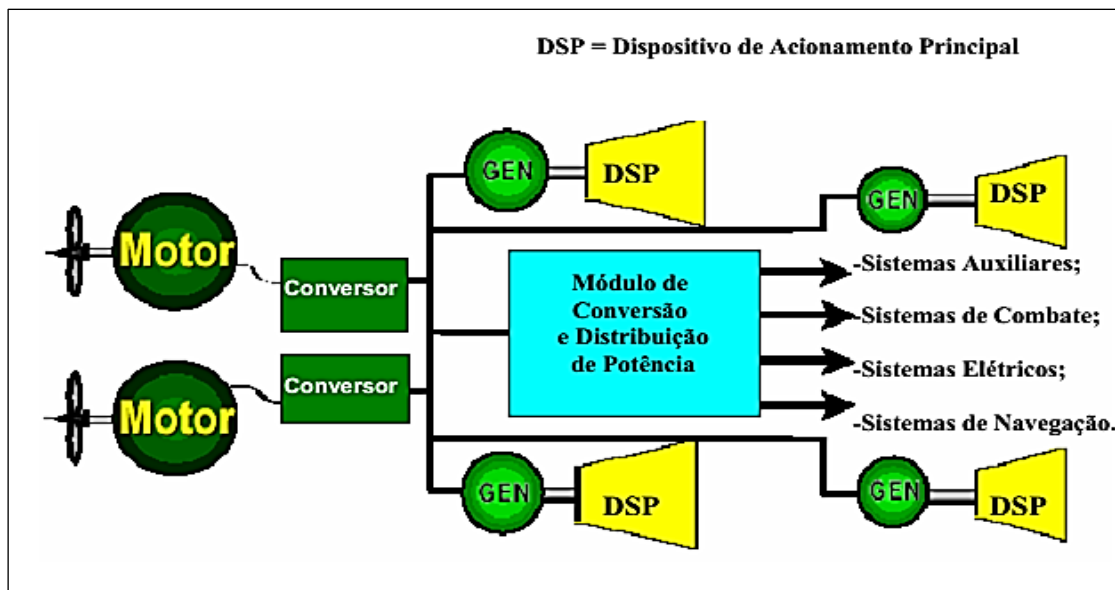
**Fonte:** (NSBA, 2015).

Os motores elétricos utilizados podem ser de corrente contínua ou alternada. No caso da utilização de motores elétricos de corrente alternada, ou outras cargas alimentadas por este tipo de corrente, há a necessidade de incluir um inversor. Os inversores são dispositivos eletrônicos capazes de converter energia de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA).

As embarcações ideais para este tipo de sistema são aquelas para operar em percursos curtos e baixas velocidades, como balsas de travessia (NSBA, 2015).

#### 3.3.4.2 Sistema de propulsão diesel elétrico

A propulsão elétrica pode ser definida como um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um motor elétrico, o qual transmite movimento rotacional ao hélice.

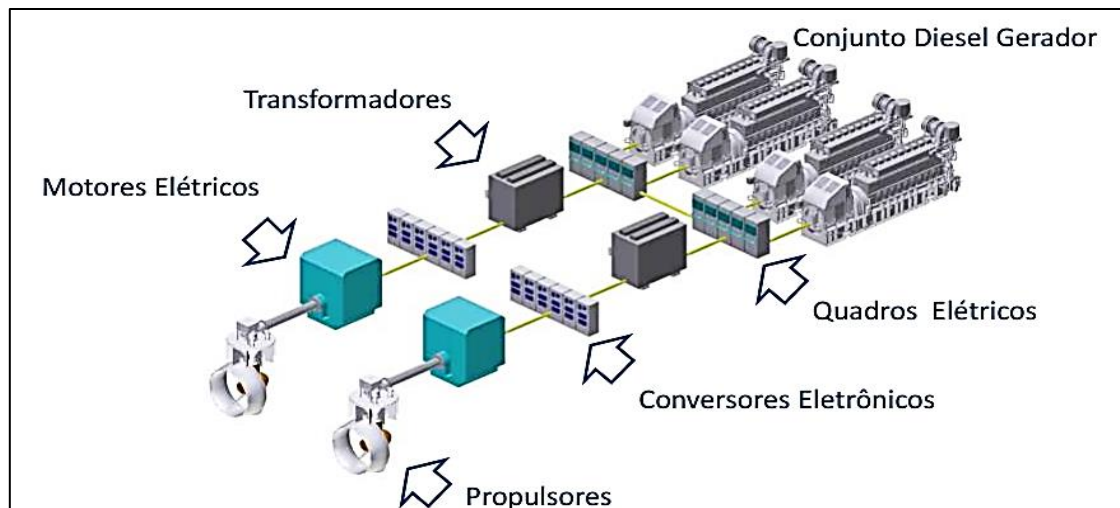


**Figura 3.6:** Diagrama em blocos de um sistema de propulsão elétrica.

**Fonte:** (ALVES, 2007).

Na propulsão diesel elétrica, o dispositivo de acionamento principal consiste em um motor diesel. Como explica (ADNANES, 2003), na maioria dos casos, o dispositivo de acionamento principal é um motor de combustão interna alimentado por diesel ou óleo combustível pesado. Ocasionalmente podem-se encontrar motores ou turbinas a gás, a vapor ou de ciclo combinado. Isto em casos especiais quando há exigência de níveis mais elevados de potência, em embarcações de alta velocidade, ou onde o gás é uma alternativa barata, como em navios transportadores de GNL.

O sistema de propulsão diesel elétrica é composto basicamente por gerador elétrico, painéis de distribuição, cabos de transmissão, motor elétrico, conversores, além da possibilidade de utilização de propulsores do tipo azimutais.



**Figura 3.7:** Principais componentes de um sistema diesel elétrico.  
**Fonte:** (PADOVEZI, 2011).

(FEIJÓO, 2012) divide o sistema energético de propulsão diesel elétrico em três principais áreas:

- Geração de energia: É a área responsável pela geração de energia, apresentando basicamente o dispositivo de acionamento principal (motor diesel) e os geradores, responsáveis pela geração de energia do sistema.
- Distribuição de energia: É a área responsável pela distribuição da energia produzida pelos grupos geradores até os locais onde será consumida. É composta pelos painéis de distribuição e controle da energia.
- Propulsão Elétrica : Apresenta todos os equipamentos responsáveis por transmitir a energia da melhor maneira possível para os hélices, ou seja, os equipamentos responsáveis pela propulsão mecânica da embarcação, como os transformadores de propulsão, os inversores de frequência e os motores elétricos de propulsão.

Neste tipo de sistema, são eliminadas as conexões mecânicas entre o motor de combustão interna e o eixo propulsor. Assim, o controle da velocidade da embarcação é feito pelo controle da rotação do motor elétrico, onde o motor diesel gira em uma velocidade fixa e as variações na frequência ocorrem na saída do conversor.

Portanto, a propulsão diesel elétrica pode ser descrita de forma mais precisa como a transmissão elétrica de potência entre a relativamente alta velocidade e baixo torque do motor diesel para a baixa velocidade e elevado torque requerido para girar os propulsores (ALVES, 2007).

Os motores elétricos utilizados podem ser de corrente contínua ou alternada e são conectados ao hélice diretamente, ou por meio de uma engrenagem redutora.

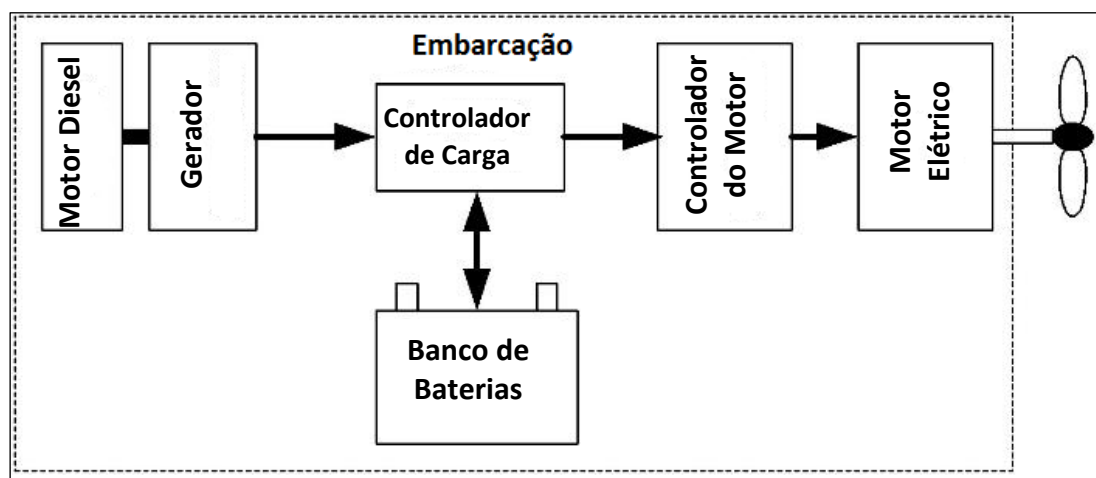
Este sistema pode conter vários geradores ou motores elétricos, onde o número e o tamanho dos mesmos serão definidos de acordo com a finalidade e demanda de energia da embarcação, assim como da disponibilidade de espaço e peso para acomodar estes equipamentos.

### 3.3.4.3 Sistema de propulsão híbrido

Ao contrário dos sistemas puramente elétricos, os sistemas híbridos possuem além do sistema de armazenamento de energia e do motor elétrico, um motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico. Sua diferença para o sistema diesel elétrico consiste apenas na presença do elemento de armazenamento de energia elétrica (normalmente um banco de baterias).

#### 3.3.4.3.1 Sistema híbrido em série

Em uma configuração híbrida em série, o motor elétrico é o único meio de fornecer energia ao propulsor (figura 3.8). Este motor poderá receber energia elétrica do banco de baterias ou do gerador acionado pelo MCI.



**Figura 3.8:** Configuração do sistema de propulsão híbrido em série.

**Fonte:** (NSBA, 2015).

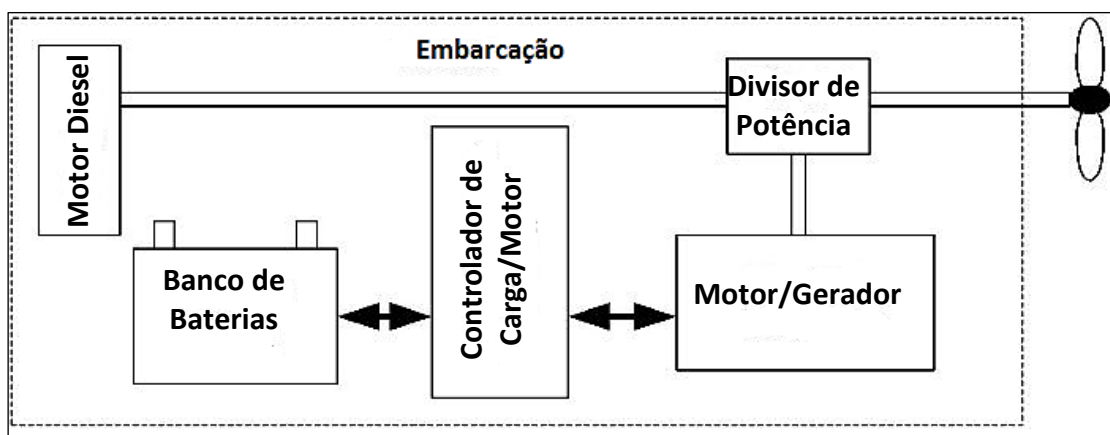
Este sistema é similar ao diesel elétrico pelo fato de eliminar as conexões mecânicas entre o MCI e o eixo propulsor. Entretanto, são utilizadas baterias para o armazenamento de energia elétrica. Esta energia pode ser utilizada para a propulsão da embarcação e/ou fornecer energia para equipamentos elétricos e outras cargas “hotel”.

A capacidade de armazenamento é função da quantidade dos bancos de bateria ou da possibilidade destas serem carregadas por fontes alternativas de energia. Assim,

mais longos poderão ser os períodos com o uso de propulsão elétrica sem a necessidade de recorrer ao gerador diesel.

#### 3.3.4.3.2 Sistema híbrido em paralelo

No sistema híbrido paralelo, tanto o MCI quanto o motor elétrico podem fornecer potência ao hélice, onde são mantidas as conexões mecânicas entre o MCI e o eixo propulsor (figura 3.9).



**Figura 3.9:** Configuração do sistema de propulsão híbrido paralelo.

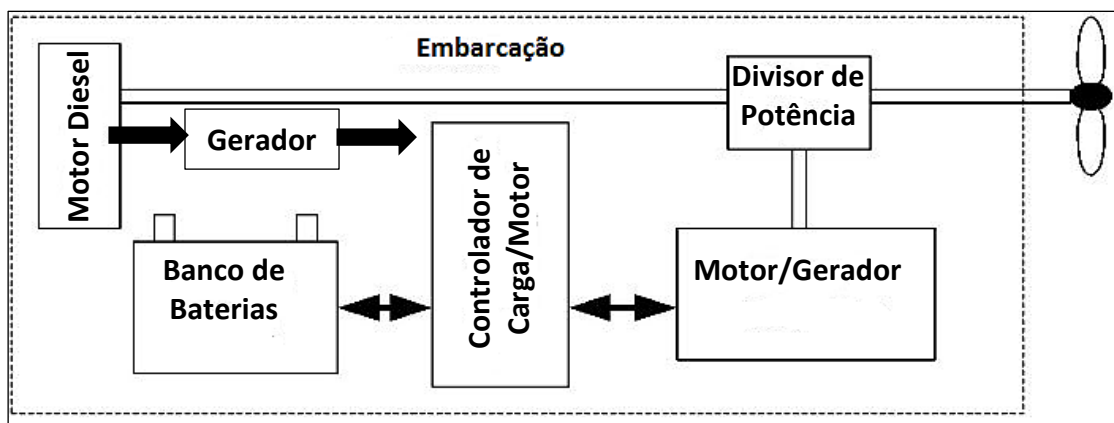
**Fonte:** (NSBA, 2015).

O divisor de potência é um dispositivo mecânico que permite a transferência de potência entre suas conexões, possibilitando assim que ambos ou somente um dos dispositivos produza potência para mover a embarcação.

O motor / gerador pode ser usado tanto para acionar o hélice com energia do banco de baterias, como para carregá-lo.

#### 3.3.4.3.3 Sistema híbrido combinado série/paralelo

Este sistema é uma combinação das configurações em série e paralelo, incorporando a possibilidade de recarga da bateria pelo MCI, com o uso de um gerador, mesmo quando ele estiver fornecendo potência ao propulsor. Surge com a necessidade de combinar os benefícios de cada um dos dois tipos, de forma a operar sempre com a maior eficiência possível.



**Figura 3.10:** Configuração do sistema de propulsão híbrido “série/paralelo”.

**Fonte:** Elaboração própria baseado em (NSBA, 2015).

#### 3.3.4.4 Vantagens e desvantagens da propulsão elétrica

Em embarcações com propulsão mecânica tradicional, a velocidade do motor é que define a rotação do hélice. Consequentemente, dependendo do perfil de operação da embarcação, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, associado às altas velocidades. Isto pode ocasionar um excessivo consumo de combustível e desgaste mecânico (ALVES, 2007).

Uma importante característica do sistema diesel elétrico consiste no controle da velocidade da embarcação pelo controle da rotação do motor elétrico. Em virtude da extinção da conexão mecânica entre o MCI e o eixo propulsor, o ajuste da rotação do propulsor independe da rotação da máquina principal, sendo determinada pela rotação do motor elétrico. Deste modo, como não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo do MCI e a rotação do hélice, o MCI pode trabalhar em uma rotação constante no seu ponto de melhor rendimento, independente da velocidade de rotação do propulsor. Isto irá ocasionar uma redução no consumo de combustível e aumento do ciclo de vida do MCI.

Outro importante aspecto deste sistema é a flexibilidade de seu projeto. Ele permite uma melhor utilização do espaço interno, na medida em que não existem eixos atravessando a embarcação e os geradores podem ser instalados no local mais conveniente do ponto de vista operacional.

Os equipamentos da propulsão elétrica são modulares e não precisam ser posicionados próximos uns aos outros. Assim, eles podem ser colocados em compartimentos diferentes, o que confere maior flexibilidade na organização do sistema, resultando em uma otimização do espaço disponível a bordo.



A utilização de mais de um gerador e/ou motor elétrico torna a embarcação mais confiável, pois permite que em altas velocidades sejam utilizados todos os motores, e nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários. Isto confere um aumento da segurança da navegação devido à redundância dos elementos constituintes do sistema elétrico.

Os danos em um compartimento de máquinas podem facilmente ser detectados e “by-passados”, mantendo-se o funcionamento do sistema inalterado, devido a um sistema de geração de energia e de propulsão redundantes, distribuídos e reconfiguráveis, (ALVES, 2007).

Os equipamentos elétricos também apresentam custos e períodos de manutenção menores. Com a elevada automação dos sistemas elétricos, as manutenções preditiva e preventiva são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção.

No campo técnico, a propulsão elétrica apresenta vantagens com relação à manobrabilidade e redução de ruídos e vibração transmitida ao eixo do hélice. Na questão da manobrabilidade, a propulsão diesel elétrica apresenta vantagens principalmente nas manobras de parada brusca, como explicam (HANSEN; LYSEBO, 2004). Isto ocorre pelo fato do motor elétrico proporcionar um melhor controle da rotação do hélice e mudar rapidamente o sentido da rotação do mesmo, o que reduz o tempo e a distância de parada. Estudos realizados com navios de grande porte que utilizam propulsão elétrica demonstraram uma redução de 30% a 50% na distância de parada em caso de emergência em relação à propulsão convencional (ABB, 2002) apud (PEREIRA, 2007).

Geralmente, a propulsão elétrica também proporciona um raio de giro menor em comparação às embarcações com propulsão convencional. Como exemplo, podem-se citar os navios que dispõem de propulsão diesel elétrica da marinha canadense, em que o diâmetro tático<sup>10</sup> destes navios é da ordem de 2,8 vezes o seu comprimento, bem abaixo da recomendação que este parâmetro não ultrapasse cinco vezes o comprimento da embarcação (Irving Shipbuilding Inc., 2006) apud (PEREIRA, 2007).

---

<sup>10</sup> Diâmetro tático é a distância medida na direção perpendicular ao rumo inicial, numa guinada de 180° em uma curva de giro. O diâmetro tático corresponde ao afastamento máximo (distância máxima medida na direção perpendicular ao rumo inicial, desde o ponto em que o leme foi carregado até a proa ter atingido o novo rumo), (MIGUENS, 1995).



A possibilidade da utilização de propulsores azimutais também proporcionam melhor manobrabilidade devido à capacidade dos propulsores de girar em torno dos seus eixos em todas as direções.

Já a redução das vibrações do eixo do propulsor se dá pelo fato do motor diesel não ficar mais conectado com o hélice, e sim com os motores elétricos. Como estes motores não produzem torques oscilatórios, o problema de vibrações tende a ser minimizado durante as operações (APRIAINEN et al., 1993).

Com relação ao aspecto ambiental, a redução no consumo de combustíveis fósseis resulta em uma consequente redução na emissão de poluentes. Estudos como o (DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING OF UNITED STATES NAVAL ACADEMY, 2006) e (WILGENHOF; STAPERSMA, 1997) afirmaram que a propulsão elétrica reduz as taxas de emissões de gases poluentes em torno de 10% a 20% em relação à propulsão diesel convencional.

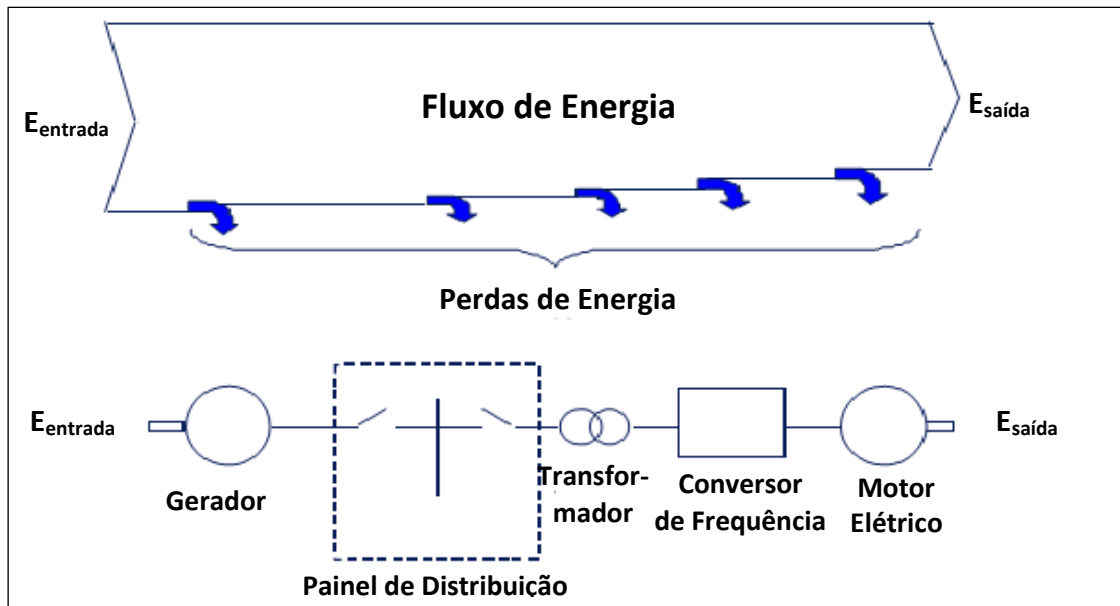
A utilização de motores elétricos também permite a utilização de formas alternativas de energia, com bancos de baterias alimentados por painéis solares, geradores eólicos ou mesmo pilhas combustíveis.

Entretanto, os sistemas de propulsão elétrica apresentam algumas desvantagens que devem ser consideradas na comparação com os sistemas diesel convencionais:

Possuem maior custo na aquisição dos equipamentos e maior peso em relação ao motor diesel, (SOLER; MIRANDA, 1997). Entretanto seus custos tendem a diminuir com o aumento da escala de produção (ADNANES, 2003).

Os equipamentos elétricos adicionais (geradores, conversores, motor elétrico) entre o motor diesel e o propulsor elevam as perdas no sistema de transmissão devido às múltiplas transformações de energia no sistema. O motor diesel gera energia mecânica rotacional, que é convertida em energia elétrica pelos geradores, que por sua vez é reconvertida pelos motores de propulsão em energia mecânica depois de passar pelos dispositivos elétricos.

A eficiência total é o produto das eficiências dos equipamentos típicos do sistema de propulsão elétrico em série. A figura 3.11 mostra um esquema simplificado do fluxo de energia entre os componentes do sistema elétrico de uma embarcação.



**Figura 3.11:** Fluxo de energia em um sistema elétrico simplificado.

**Fonte:** (ADNANES, 2003).

A eficiência elétrica do sistema da figura 3.11 é definida pela equação:

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} = \frac{P_{saída}}{P_{saída} + P_{perdas}} \quad (3.1)$$

Os valores típicos da eficiência de cada componente do sistema são os seguintes (ADNANES, 2003; BALASHOV, 2011; MAN, 2012<sup>a</sup>):

- ✓ Gerador: 95 – 97%;
- ✓ PAINEL de distribuição: 99,99%;
- ✓ Transformador: 99,1 – 99,7%;
- ✓ Conversor: 98 – 99%;
- ✓ Motor elétrico: 95 – 97%

Assim, a eficiência total do sistema, entre o eixo do motor diesel e o eixo do motor de propulsão elétrico, varia entre 88 e 92% em plena carga, variando de acordo com o nível de carga imposta ao sistema.

Outro aspecto fundamental é o risco inerente dos equipamentos de sistemas elétricos. Portanto, é fundamental o correto preparo e treinamento da tripulação que irá operar as tecnologias mais complexas desses sistemas. A tripulação deve estar consciente dos riscos envolvidos e preparada para lidar com os possíveis problemas relacionados com as falhas desta tecnologia (PEREIRA, 2007).

Segundo (BORMAN; SHARMAN, 1995; KOSKELA; KOUKKARI; KUUSKOSKI, 1995) apud (PEREIRA, 2007), as embarcações com sistemas elétricos

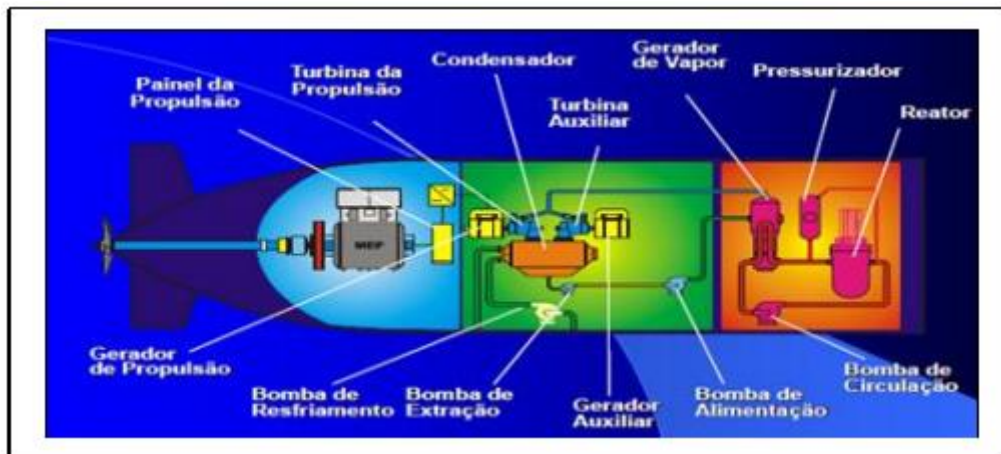
devem atender às normas estabelecidas pelas sociedades classificadoras em relação às partes dos equipamentos, onde são recomendáveis os seguintes requisitos:

- Sistemas de isolamento dos equipamentos em caso de curto circuito;
- Procedimentos de eliminação das falhas para reduzir os riscos de acidentes e evitar incêndios;
- Separar a geração de energia dos motores elétricos em pelo menos dois compartimentos;
- Separação total dos equipamentos vitais para operacionalidade do navio em caso de fogo ou alagamento de um compartimento;

### **3.3.5 Sistema de propulsão nuclear**

Um sistema de propulsão nuclear, de uma forma geral, pode ser definido como aquele em que a energia calorífica liberada na fissão nuclear é convertida, por processos termodinâmicos normais, em potência útil propulsora. A fissão é uma reação especial que ocorre em raros elementos como o Urânio-235. Quando um nêutron, que é uma partícula do átomo, atinge um núcleo de U-235 e é absorvido, forma-se um novo núcleo que se parte em dois outros núcleos mais leves. Nesta transformação perde-se massa, que se transforma em energia e desprendem-se dois ou três nêutrons e produtos secundários chamados fragmentos de fissão (FONSECA, 2005).

Esta reação possui dois importantes resultados: o primeiro é a grande quantidade de energia desprendida, onde a maior parte aparece como energia cinética dos fragmentos e nêutrons que resultam da fissão. O segundo é que a reação nuclear se desenvolve de modo crescente, até que todo o material físsil (combustível) seja desintegrado (FONSECA, 2005). A Figura 3.12 apresenta uma ilustração de um diagrama esquemático para um sistema de propulsão nuclear.



**Figura 3.12:** Sistema de propulsão nuclear.  
**Fonte:** (PINHEIRO, 2013).

### 3.3.6 Sistema de propulsão combinada

Os sistemas de propulsão combinada são sistemas não convencionais que utilizam mais de um tipo de propulsão para aproveitar as qualidades de cada tipo de máquina propulsora (turbinas a vapor, turbinas a gás, motores diesel, motores elétricos e reatores nucleares). Normalmente são utilizados em embarcações que necessitam de ampla capacidade de variação de velocidade, como os navios militares de guerra ou de escolta. Os principais arranjos utilizados são os seguintes (PINHEIRO, 2013; SOUZA, 2009).

- **CODOG** (*Combined Diesel or Gas*): Propulsão combinada entre motores diesel e turbinas a gás. As turbinas a gás são destinadas a manobras rápidas e altas velocidades, enquanto os motores diesel são utilizados em velocidade de cruzeiro.
- **CODAG** (*Combined Diesel and Gas*): Difere do sistema CODOG em regimes de alta velocidade. Neste caso, os motores diesel trabalham em conjunto com as turbinas a gás para aumentar a potência de propulsão da embarcação.
- **COGOG** (*Combined Gas or Gas*): Propulsão combinada entre dois conjuntos diferentes de turbinas a gás, onde se utiliza uma turbina a gás de menor consumo para velocidades de cruzeiro e uma turbina de alto rendimento para velocidades maiores, onde se exige alta produtividade.
- **COGAG** (*Combined Gas and Gas*): Semelhante ao sistema CODAG, porem neste caso os dois tipos de turbina a gás operam conjuntamente em altas velocidades.

- **CODLAG** (*Combined Diesel-Electric and Gas Turbine*): É um sistema variante do CODAG, onde motores elétricos são acrescentados ao sistema de propulsão, com a finalidade de se obter níveis de ruído baixos quando operando em baixas velocidades.

- **COSAG** (*Combined Steam and Gas*): Neste sistema, a turbina a vapor faz a função do motor a diesel para regimes mais econômicos. Em altas velocidades, os dois atuam conjuntamente. É um sistema praticamente extinto e somente alguns poucos navios obsoletos o utilizam no mundo.

- **CODAD** (*Combined Diesel and Diesel*): Operam de forma semelhante ao COGAG, possuindo um conjunto de motores em atividade para baixas velocidades e todo o sistema trabalhando para desempenho máximo.

- **CONAS** (*Combined Nuclear and Steam*): Este tipo de sistema é composto por caldeiras que alimentam um grupo de turbinas a vapor para trabalhar em baixas velocidades, e reatores nucleares alimentam outro grupo de turbinas a vapor para operar em velocidades mais altas. Os reatores podem ser desligados e o navio operar somente com as caldeiras, porém ambos podem ser acionados conjuntamente para obter altas velocidades.

## **4. Avaliação do uso de energia na atividade pesqueira**

Com o objetivo de conhecer o contexto de atuação das diferentes modalidades de pesca encontradas no Estado do Rio de Janeiro e sua importância na produção pesqueira nacional, será feita uma caracterização e quantificação do setor pesqueiro fluminense. Uma ênfase maior foi dada a pesca de espinhel, de modo a justificar a sua escolha para as análises deste estudo.

### **4.1 Caracterização da frota pesqueira do Estado do Rio de Janeiro**

O Brasil possui uma linha de costa com cerca de 8.500 km de extensão e uma grande diversidade de organismos marinhos, considerados como recursos econômicos e naturais. Nesse ecossistema a atividade de pesca tem uma grande importância como fonte de alimento e trabalho.

Na Região Sudeste, a pesca se caracteriza por nítida diversificação, ocupando a terceira posição na produção de pescado marinho e estuarino do país (FIPERJ, 2014). Durante várias décadas, o Estado do Rio de Janeiro foi o principal polo pesqueiro industrial do Brasil desembarcando inicialmente baleias e, a partir dos anos de 1970, camarões e sardinhas. O Estado possui uma das mais extensas linhas costeiras do país (635 km), ocupando a 3ª posição em relação às demais unidades federativas, apesar de contar com apenas 0,5% da superfície territorial brasileira. É apontado como o terceiro maior Estado produtor de pescado, com aproximadamente 79 mil toneladas de produção (FIPERJ, 2014).

A diversidade geográfica da costa fluminense, aliada às características oceanográficas do litoral, como a ocorrência da Ressurgência, fenômeno natural de afloramento de águas frias e ricas em nutrientes que enriquece as águas da plataforma costeira, mantém a alta diversidade e produtividade de espécies pesqueiras.

A pesca comercial artesanal ocorre em todo o litoral, nos rios e lagoas. Já a pesca de maior escala, conhecida como pesca comercial industrial, tem expressiva representação no Estado, se baseando em portos específicos que apresentam uma infraestrutura mínima para seu desembarque, além da facilidade do escoamento da produção (FIPERJ, 2013ª).

Porem, a análise tecnológica da frota e dos petrechos de pesca fluminense mostra que a atividade está baseada em materiais e tecnologias antigas. A frota pesqueira fluminense é antiga e mal dimensionada (BEGOT; VIANNA, 2014; VIANNA et al., 2009). As embarcações são predominantemente de madeira não certificada e usam o mesmo projeto básico, independente da arte de pesca ou distância da costa que opere.

Cabe ressaltar que a escassez de dados e pesquisas relativas ao setor pesqueiro do Estado do Rio de Janeiro dificultam a quantificação e caracterização das diferentes frotas pesqueiras que operam em sua costa.

Entretanto, alguns importantes esforços para a coleta de dados permitem ter uma visão mais precisa sobre as características físicas e operacionais das embarcações pesqueiras que operam nos principais portos do Estado.

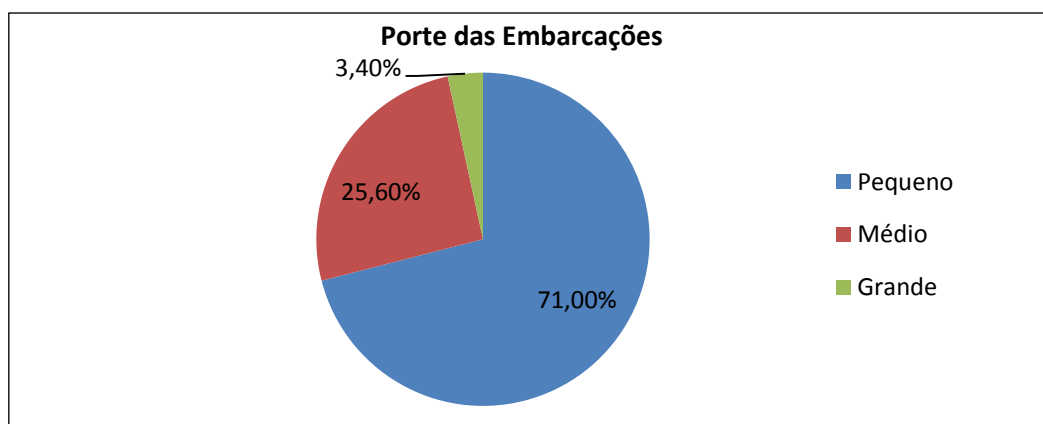
Em um trabalho de coleta de dados realizado entre os anos de 2007 e 2012 através de entrevistas e medições diretas de 1.879 embarcações motorizadas no Estado do Rio de Janeiro, (BEGOT; VIANNA, 2014) identificaram o perfil da frota pesqueira do estado.

A área de estudo foi composta por 14 municípios: Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Niterói, São Gonçalo, Saquarema, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Armação dos Búzios, Rio das Ostras, Macaé, Quissamã, Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco de Itabapoana.

Os resultados dos autores mostram que aproximadamente 56% das embarcações investigadas apresentam idade superior a 20 anos, com um alto índice de embarcações acima de 50, 40 e 30 anos de idade, perfazendo mais de um terço do total das embarcações. Com relação ao material do casco, 94% das embarcações foram construídas em madeira. Por não requerer técnicas apuradas no seu manuseio, a madeira é apontada como o material preferido, embora aumente a necessidade de manutenção frequente. Estes dados são uma forte evidência de que a frota fluminense é antiga e obsoleta.

Quanto ao comprimento total, foi observado que mais de 80% das embarcações possui comprimento total entre 5,1 e 14,0 m. A variação do comprimento das embarcações oscilou entre 2 e 29 m, com média de 10,4 m.

Em relação à arqueação bruta, foi identificado que grande parte das embarcações (71,0%) se caracteriza pelo pequeno porte, como mostra a figura 4.1.



**Figura 4.1:** Distribuição da Arqueação Bruta das embarcações.

**Fonte:** (BEGOT; VIANNA, 2014).

Os critérios de porte das embarcações estabelecidos pela Lei Nº 11.959/2009 e pela Norma de Autoridade Marítima, NORMAN-01/DPC (DPC, 2005) são os seguintes: embarcações miúdas (< 8 AB), pequeno porte (> 8 AB e < 20 AB), médio porte (de 20,01 a 100 AB) e grande porte (maior de 100 AB). Portanto, considerando os critérios de definição da pesca estabelecidos pela Lei nº 11.959/2009 (BRASIL, 2009), em que a pesca artesanal é praticada por embarcações de pequeno porte pode-se afirmar, pela figura 4.1, que a frota pesqueira do estado do Rio de Janeiro é basicamente artesanal.

Foi observada também a grande diversidade qualitativa e quantitativa da frota. A sua heterogeneidade é demonstrada pela presença de embarcações mais novas no norte do Estado, com o predomínio da rede de arrasto como petrecho principal, enquanto que o sul exhibe a linha-de-mão e o emalhe como petrechos principais. Cerca de 90% das embarcações utilizaram ao menos um petrecho secundário, com a maioria usando até quatro petrechos. Os principais tipos de petrechos secundários foram o espinhel, utilizado em 25% da frota amostrada, seguido pelo cerco (22%) e emalhe, com 21%.

Outra importante contribuição para a coleta de dados sobre as frotas pesqueiras que operam nos portos do Rio de Janeiro foi o “Projeto de Monitoramento da Pesca no Estado do Rio de Janeiro” (FIPERJ, 2013b). Este estudo foi realizado pela Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro (FIPERJ) em parceria com o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), a Universidade Federal do Rio de Janeiro, através da Fundação Universitária José Bonifácio, a Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro (CEPERJ), e a Prefeitura Municipal de Armação de Búzios. Foram monitorados 44 pontos de



desembarques de pescado tradicionais, distribuídos em Angra dos Reis (5 pontos), Niterói (8 pontos), São Gonçalo (4 pontos), Cabo Frio (12 pontos), e São João da Barra (11 pontos), entre 08/2010 e 12/2012.

Este trabalho permitiu a coleta de informações sobre a produção pesqueira e a caracterização da estrutura de cada frota atuante no Estado do Rio de Janeiro, gerando relatórios como o Diagnóstico da Pesca do Estado do Rio de Janeiro e o Boletim Estatístico da Pesca do Estado do Rio de Janeiro, responsáveis por consolidar todas as informações coletadas.

Observou-se nos dois anos, uma predominância do cerco como principal método de pesca em termos de produção (76% e 74%). Isto se deu principalmente em virtude de cinco das espécies mais capturadas serem espécies-alvo desta arte, entre elas a sardinha-verdadeira e outras espécies de pequenos pelágicos, como a sardinha-lage, savelha e cavalinha. Em seguida destacam-se as frotas de arrasto duplo (8% e 11%) e de vara e isca-viva (6% e 8%).

**Tabela 4.1** – Produção pesqueira das principais artes de pesca desembarcadas no Estado do Rio de Janeiro (2011 e 2012).

2011			2012		
Artes de Pesca	Produção (t)	%	Artes de Pesca	Produção (t)	%
Cerco	59.743	75,6	Cerco	67.386	74,3
Arrasto Duplo	6.408	8,1	Arrasto Duplo	10.097	11,1
Vara e Isca-viva	4.794	6,1	Vara e Isca-viva	7.088	7,8
Linha de Superfície	1.927	2,4	Espinhel de Superfície	1.413	1,6
Emalhe de Fundo	1.377	1,7	Espinhel de Fundo	1.224	1,3
Espinhel de Superfície	1.169	1,5	Linha de Superfície	1.206	1,3
Espinhel de Fundo	746	0,9	Emalhe de Fundo	571	0,6
Armadilha/Covos/Pote	697	0,9	Covos	487	0,5
Linha de Fundo	629	0,8	Diversificado	256	0,3
Espinhel de Meia Água	447	0,6	Pote	210	0,2
Outros	1.053	1,3	Outros	752	0,8
<b>Total</b>	<b>78.991</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>	<b>90.689</b>	<b>100</b>

**Fonte:** (FIPERJ, 2013b).

A análise da infraestrutura de desembarque nos municípios avaliados concordou com os resultados apresentados por (BEGOT; VIANNA, 2014; VIANNA et al., 2009), onde os principais portos de origem coincidiram, em sua maioria, com os que ofereceram uma melhor infraestrutura de apoio à pesca.

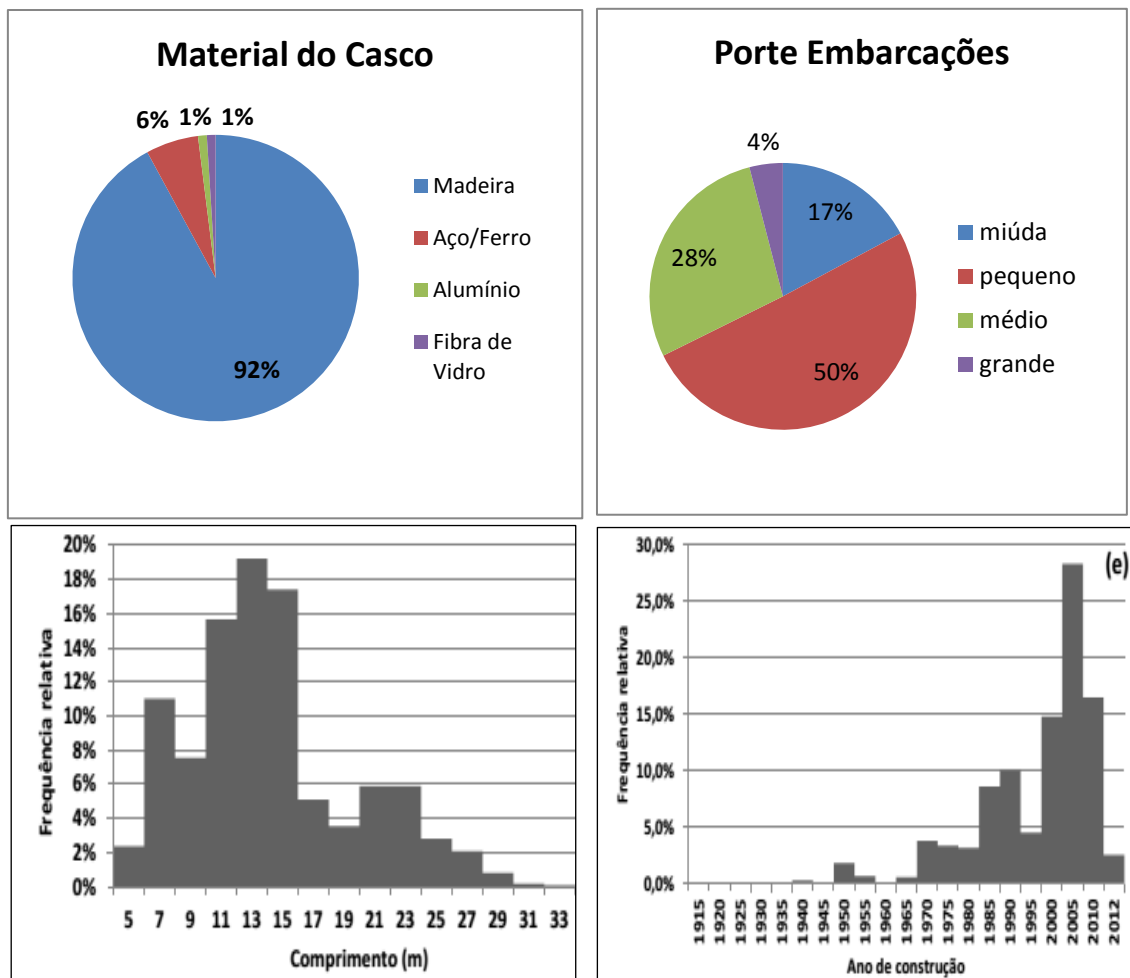
O município de Angra dos Reis tem sido nos últimos anos o principal porto de descarga de sardinha- verdadeira, frequentado por embarcações de outros municípios do Estado do Rio de Janeiro, mas também de outros Estados, como São Paulo e Santa Catarina. Em Angra dos Reis registrou-se a maior produção em 2011, de 26.823 t, devido principalmente aos desembarques de sardinha-verdadeira da frota de cerco de todo Sudeste e Sul neste ano. Já em 2012, a produção registrada neste município foi de 20.760 t.

O Município de Niterói abriga a maior diversidade de frotas pesqueiras do Estado do Rio de Janeiro que atuam na pesca de pequena, média e grande escala. A produção desembarcada nos portos de Niterói foi de 25.582 t em 2011 e 31.437 t em 2012.

O Município de Cabo Frio ficou em terceiro lugar, com 16.354 t e 17.248 t, respectivamente em 2011 e 2012, representando 21% e 19% da produção estadual. Seus portos são utilizados por embarcações de pequena a grande escala, que possuem características variadas de tamanho e potência de motor.

Com relação à estrutura e operação das frotas pesqueiras, o projeto cadastrou um total de 1.632 embarcações, onde das embarcações com informações disponíveis, constatou-se que 69% são provenientes do Rio de Janeiro, 9% do Estado do Espírito Santo e 7% de Santa Catarina.

A figura 4.2 a seguir mostra as características físicas das embarcações monitoradas, quanto a seus principais parâmetros:



**Figura 4.2:** Parâmetros físicos da frota pesqueira do Rio de Janeiro: 2010/2012.

**Fonte:** (FIPERJ, 2013b).

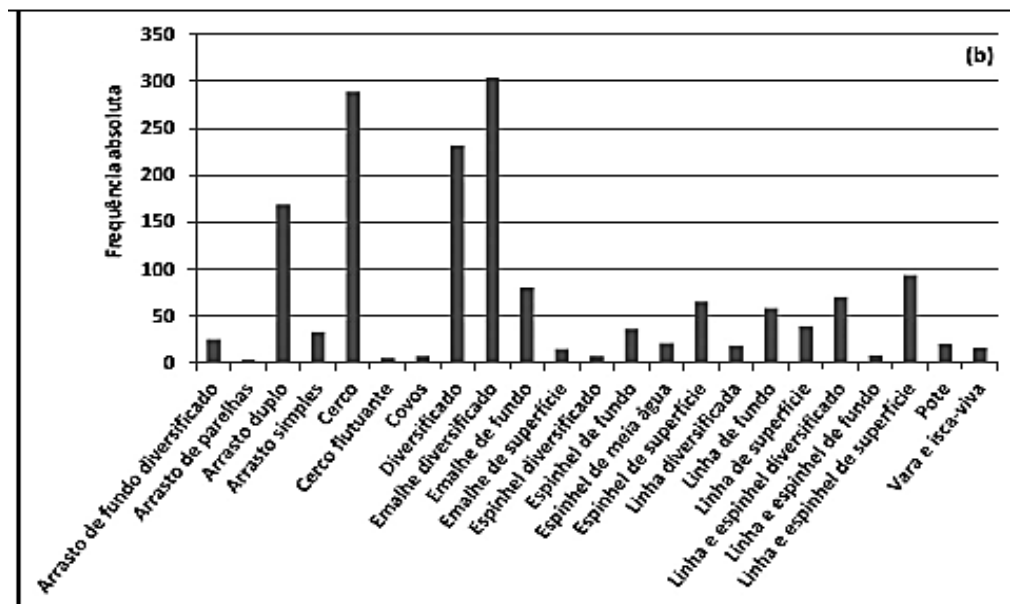
**Notas:** Número de embarcações com informações disponíveis:

- (1) Material do casco: n=1.241.
- (2) Porte: n=1.118.
- (3) Comprimento: n=1.095.
- (4) Ano de Construção: n=964.

A estrutura etária das embarcações indica que a maior parte delas foi construída entre 2000 e 2010, todavia, algumas datam das décadas de 1910 e 1920. A idade média foi de 18,5 anos, com idades variando entre 1 e 101 anos. Para as embarcações do Rio de Janeiro, a idade média foi de 20 anos.

Quanto ao material do casco, para as embarcações que tiveram informações disponíveis (1.241), 92% (ou 71% do total) são de madeira. As embarcações miúdas e de pequeno porte representaram 67% do total de embarcações (1.118), seguido das embarcações de médio porte (28%) e de grande porte (4%), o que confirmou o caráter essencialmente artesanal da frota, identificado por (BEGOT; VIANNA, 2014)

A variação do comprimento das embarcações ficou entre 3,5 e 35 m, com média de 13,42 m. A distribuição de frequência mostra que as embarcações se concentraram nas classes de 11 a 15 m de comprimento. Considerando somente as embarcações do Rio de Janeiro, o comprimento variou entre 3,5 e 28,5.



**Figura 4.3:** Número de embarcações por modalidade de pesca.

**Fonte:** (FIPERJ, 2013b).

**Notas:** (1) A categoria “diversificado” engloba aquelas embarcações que utilizaram mais de um petrecho de pesca durante suas atividades.  
 (2) Para as categorias emalhe, espinhel, linha e linha e espinhel diversificados, a palavra “diversificado” denota a operação dos aparelhos tanto na superfície quanto no fundo. No caso das embarcações de arrasto de fundo diversificado, estas operam com combinações de arrasto duplo, arrasto simples e arrasto de parelhas.

A figura 4.3 mostra que a frota de emalhe diversificado é a mais numerosa, com 304 embarcações (composta integralmente por embarcações provenientes do Rio de Janeiro), seguida pelo cerco, com 289, diversificado (232) e arrasto duplo (169). Analisando a figura 4.3 e a tabela 4.1, verifica-se a importância das frotas de cerco e arrasto duplo, tanto em termos de quantidade de embarcações como de produção pesqueira. A frota de cerco contou com 289 embarcações e mais de 70% da produção desembarcada, enquanto a frota de arrasto duplo, com 169 embarcações, correspondeu a 8% e 11% da produção em 2011 e 2012 respectivamente. Já a frota de emalhe, embora não represente percentual significativo de quantidade de pescado desembarcada, foi a frota que apresentou o maior número de embarcações.

As Tabelas 4.2 e 4.3 caracterizam as embarcações monitoradas pertencentes ao Estado do Rio de Janeiro, segundo o comprimento (m), arqueação bruta, ano de construção, potência do motor (bhp) e modalidade de pesca:

**Tabela 4.2-** Parâmetros de caracterização física das embarcações da frota do RJ.

Modalidade de Pesca	Nº Total	Comprimento (m)					Arqueação Bruta				
		n	Min	Média	Máx	DESP	n	Min	Média	Máx	DESP
Rio de Janeiro											
Arrasto de Fundo diversificado	24	20	5	9,81	13,75	1,91	16	0,4	6,83	15,6	3,92
Arrasto Duplo	101	91	8,36	18,81	23,74	3,97	91	5,2	56,04	106	27,53
Arrasto Simples	26	18	4,9	8,25	10,7	1,73	16	0,11	4,64	7,7	2,76
Cerco	174	158	5	13,71	27	4,3	136	0,2	23,86	121	28,01
Cerco Flutuante	5	3	7,5	9,37	10,6	1,64	3	3,3	3,85	4,25	0,49
Covos	5	5	11	12,4	13	0,89	5	5	7,2	10	1,92
Diversificado	187	142	3,8	10,54	22	2,77	99	0,1	9,95	77	9,6
Emalhe diversificado	300	159	4	7,16	13,5	2	79	0,1	2,17	12,6	3,04
Emalhe de Fundo	45	24	6	11,31	21	3,45	19	4	15,15	100	22,96
Emalhe de Superfície	11	10	10,5	12,3	16	1,78	6	6	7,98	10	1,68
Espinhel Diversificado	6	6	11	13,2	16,2	2	6	8	17,42	30	8,71
Espinhel de Fundo	17	17	5,5	13,75	16,7	3,24	15	0,8	20,38	38	11,6
Espinhel de Meia água	2	1	12,5	12,5	12,5		1	21,6	21,6	21,6	
Espinhel de superfície	41	37	10	12,8	18	1,9	33	0,7	13,58	39	7,33
Linha Diversificado	16	14	3,5	9,43	13	2,6	11	2	6,55	10,8	3,69
Linha de Fundo	52	9	6	9,13	11,3	1,97	7	0,1	4,17	9,6	3,31
Linha de Superfície	7	6	11	15,08	19,7	3,16	6	10	29,12	61	17,54
Linha e Espinhel Diversificado	37	37	9	12,25	19,5	2,3	34	2	10,22	30,8	5,93
Linha e Espinhel de Fundo	8	6	7,5	11,52	16	3,2	3	7	12,93	19,8	6,45
Linha e Espinhel de Superfície	36	36	9,5	13,88	19	1,86	34	4	17,12	48	8,52
Pote	3	2	19,7	20,85	22		1	49	49	49	
Vara e Isca Viva	16	16	21,2	25,26	28,41	2,42	16	75	141,05	350	66,9
Geral	1119	817	3,5	12,12	28,41	4,92	637	0,1	22,76	350	32,57

**Fonte:** (FIPERJ, 2013b).

Notas: (1) Período de monitoramento dos desembarques: agosto/2010 a dezembro/2012.

(2) Nº Total = número total de embarcações cadastradas.

(3) n = número de embarcações analisadas.

(4) Min = valor mínimo observado; Máx = valor máximo observado; DESP = Desvio Padrão.

**Tabela 4.3-** Parâmetros de caracterização física das embarcações da frota do RJ.

Modalidade de Pesca	Nº Total	Ano de Construção					Potência do Motor (bhp)				
		n	Min	Média	Máx	D.Padrão	n	Min	Média	Máx	D.Padrão
Rio de Janeiro											
Arrasto de Fundo diversificado	24	17	1937	1982	2006	16,55	14	15	80	150	43,97
Arrasto Duplo	101	91	1938	1975	2007	14,81	90	30	261	425	94,67
Arrasto Simples	26	16	1967	1988	2008	13,08	14	10	37	80	19,86
Cerco	174	135	1938	1989	2012	15,48	124	36	166	425	96,02
Cerco Flutuante	5	3	2001	2005	2007	3,21	3	22	53	115	53,69
Covos	5	3	2000	2004	2007	3,61	-	-	-	-	-
Diversificado	187	120	1951	1998	2011	10,3	81	1	73	325	70,4
Emalhe diversificado	300	142	1912	2003	2012	10,35	97	3	27	221	36,23
Emalhe de Fundo	45	20	1978	1997	2009	7,75	15	7,5	111	290	94,93
Emalhe de Superfície	11	3	1970	1991	2003	18,01	4	33	67	100	28,04
Espinhel Diversificado	6	6	1992	2003	2007	5,73	3	115	172	220	52,99
Espinhel de Fundo	17	12	1925	1985	2009	29,76	12	120	196	250	45,7
Espinhel de Meia água	2	1	2002	2002	2002		1	120	120	120	
Espinhel de superfície	41	35	1987	2003	2012	4,62	15	60	169	352	89,68
Linha Diversificado	16	11	1986	1999	2012	8,39	5	11	115	352	139,7
Linha de Fundo	52	8	1973	1999	2010	11,18	6	15	44	78	25,71
Linha de Superfície	7	5	1991	2001	2011	7,11	4	120	213	310	91,12
Linha e Espinhel Diversificado	37	33	1986	2001	2009	5,74	12	58	144	290	82,83
Linha e Espinhel de Fundo	8	5	1986	1998	2002	6,87	5	12	139	229	92,23
Linha e Espinhel de Superfície	36	33	1980	2003	2010	5,43	19	70	204	366	95,64
Pote	3	1	1967	1967	1967		1	170	170	170	
Vara e Isca Viva	16	16	1967	1986	2005	11,29	16	275	398	580	73,83
Geral	1.119	716	1.912	1.994	2012	15,43	141	1	141	580	120

**Fonte:** (FIPERJ, 2013b).**Notas:** (1) Período de monitoramento dos desembarques: agosto/2010 a dezembro/2012.

(2) Nº Total = número total de embarcações cadastradas.

(3) n = número de embarcações analisadas.

(4) Min = valor mínimo observado; Máx = valor máximo observado; D. Padrão = Desvio Padrão.

A frota de espinhel de fundo do Estado do Rio de Janeiro é composta por 17 embarcações de madeira, de porte miúdo ao médio, que representaram 76% do total de embarcações de espinhel de fundo que descarregaram nos portos monitorados. A maior parte das embarcações apresentou comprimento maior do que 13 m, com média de 13,75 m. Os motores apresentaram potência entre 120 e 250 bhp, sendo a potência média, 196 bhp.

A frota de espinhel de superfície possui 41 embarcações de pequeno e médio porte, com comprimento médio de 12,8 m e amplitude de 10 a 18 m. As embarcações foram construídas entre os anos de 1987 e 2012, apresentando idade média de 10 anos. A potência dos seus motores variou entre 60 e 352 bhp, com média de 169 bhp.

Com relação às frotas que utilizam mais de um petrecho de pesca, a frota que opera com espinhel de superfície e linha foi composta por 36 embarcações de pequeno e médio porte, com comprimento variando entre 9,5 e 19 m e média de 13,9 m. Assim como a frota de espinhel de superfície, apresentou idade média de 10 anos. A potência dos motores variou de 70 a 366 bhp, com valor médio de 204 bhp.

Já a frota de linha e espinhel diversificado foi composta por 37 embarcações de pequeno e médio porte, que operaram com os aparelhos tanto na superfície quanto no fundo. Esta apresentou comprimento médio de 12,25 m, com amplitude entre 9 e 19,5 m. As embarcações foram construídas entre os anos de 1986 e 2009, e a potência dos motores variou de 58 a 290 bhp, com média de 144 bhp.

Como concluiu (FIPERJ, 2013b) a partir destas análises, a frota de linha e espinhel de superfície, que opera sobre recursos ainda subexplorados pela frota brasileira, como as albacoras, foi a mais nova. Isto demonstra o incremento do esforço de pesca sobre estas espécies pelágicas nos últimos anos, motivado pelo crescente aumento da demanda de mercado e alto valor agregado deste grupo de pescado.

A frota de arrasto duplo, que atua principalmente sobre estoques tradicionalmente sobreexplorados, como camarão-rosa, foi a mais antiga.

Cabe ressaltar que estes dados apresentados não representam a totalidade das embarcações que operam na costa do Rio de Janeiro. Entretanto, pode-se afirmar, pelas condições de infraestrutura de desembarque ao longo da costa fluminense, que grande parcela das embarcações de médio porte e a totalidade das de grande porte estão bem representadas por este estudo. Os pontos de descarga monitorados são os que



apresentam as melhores infraestruturas, ainda que não adequadas, para receber frotas com estas características (FIPERJ, 2013b).

#### 4.2 Características da pesca de espinhel

O espinhel de superfície foi introduzido no Brasil no final da década de 1960, adotando técnica e equipamentos japoneses. Inicialmente, suas principais espécies-alvo eram as albacoras (gênero *Thunnus*), diversificando-se ao longo do tempo, à medida que outros recursos ganharam importância econômica, como o espadarte (*Xiphias gladius*), agulhões, dourado (*Coryphaena hippurus*) e cações (VALENTINI; PEZZUTO, 2006).

A arte de pesca espinhel de fundo, destinada à captura de espécies de peixes demersais foi precedida, historicamente, por pescarias tradicionais de linha-de-mão, principalmente nos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, e de pequenos espinhéis de fundo utilizados também em São Paulo. Em geral, essas artes eram utilizadas em pequenas embarcações, com raio de atuação limitado. Em 1993, foi introduzido pelo CEPISUL/IBAMA um tipo de espinhel-vertical (pargueira). Em 1994, o espinhel de fundo com cabo de aço e guincho hidráulico foi introduzido a partir das operações de pesca experimental realizadas pelo N/Pq Orion, em um projeto denominado “Pesca Exploratória e Prospectiva na Zona Econômica Exclusiva da Região Leste, Sudeste e Sul do Brasil, com Espinhel de Fundo”, desenvolvido em uma parceria entre a Kawai-Suisan Indústria e Comércio de Pescados e o Instituto de Pesca de São Paulo. Esta arte de pesca foi rapidamente incorporada por frotas de outros estados, expandindo a área de captura até o extremo sul e a profundidades superiores a 200 m (ÁVILA-DA-SILVA; MOREIRA, 2003; HAIMOVICI et al., 2003; VALENTINI; PEZZUTO, 2006).

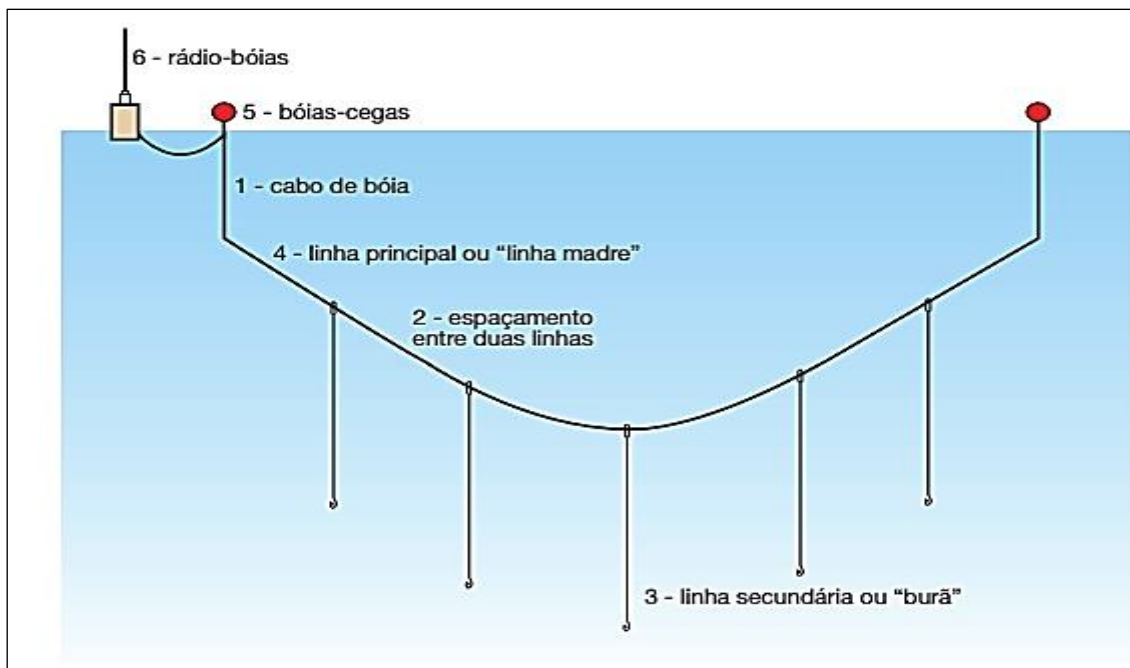
As principais espécies associadas a essas pescarias são o peixe-batata (*Lopholatilus villarii*), os chernes (*Epinephelus niveatus* e *Polyprion americanus*) e o namorado (*Pseudopercis numida*). Mais recentemente, espécies como a abrótea-de-profundidade (antes utilizada quase exclusivamente como isca), o bagre (*Genidens barbatus*), a corvina, o congro-rosa (*Genypterus brasiliensis*) e a cação-bico-doce (*Hoplostethus perlo*) passaram a ganhar importância (ÁVILA-DA-SILVA; MOREIRA, 2003; VALENTINI; PEZZUTO, 2006).

O espinhel é considerado uma arte de pesca passiva que permanece estacionária no local de pesca. O encontro dos peixes com o espinhel depende da mobilidade dos mesmos. Semelhante à pesca com armadilhas, os peixes são inicialmente atraídos pelas

iscas através do olfato. A distância na qual podem ser atraídos varia principalmente com o tipo de peixe, as iscas utilizadas, o tempo de permanência na água e a direção e intensidade da corrente (FAO, 1976). Sendo assim, o tamanho da área de ação do espinhel é muito variável e não pode ser estabelecido com precisão. O poder de pesca do espinhel varia ao longo do tempo de imersão, já que o número de anzóis disponíveis vai diminuindo devido a diversos fatores como a captura prévia, a perda das iscas, a perda de atração das iscas, etc (HAIMOVICI et al., 2003).

Do ponto de vista comercial, o espinhel é um método de pesca interessante, pois permite atrair e agregar peixes de uma grande área com um custo de operação relativamente baixo. É considerado um método de pesca adequado para capturar peixes com distribuição dispersa ou com baixa densidade. Por outro lado, por tratar-se de um aparelho de pesca com ponto de saturação definido, pode ser considerado relativamente pouco eficiente para a pesca em áreas onde as densidades de peixe são grandes quando comparado com o arrasto e o cerco. Todavia, o espinhel tem sido considerado um dos métodos que mais satisfazem às premissas da pesca responsável, com alta seletividade de espécies e comprimentos, alta qualidade do pescado, baixo consumo de energia e pouco impacto sobre o fundo oceânico (BJORDAL; LØKKEBORG, 1996; HALL, 2000).

A figura 4.4 a seguir mostra um esquema típico do petrecho de pesca espinhel de superfície, que é constituído basicamente por um cabo principal (ou linha-madre), ao qual são fixadas linhas secundárias (ou burãs) com anzóis, bem como boias cegas e radio-boias para sua sustentação e localização. No caso do espinhel de fundo, este pode ser mantido fundeado por meio de poitas.



**Figura 4.4:** Esquema típico de seção de espinhel de superfície.  
**Fonte:** (KOTAS; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2005).

As embarcações utilizadas na pesca de espinhel de fundo, meia-água ou superfície, atuam na captura de espécies de peixes demersais e pelágicos, onde a quantidade de anzóis e linhas a serem manuseados irá depender do seu tamanho, além do grau de mecanização e número de tripulantes. Geralmente, as linhas são lançadas pela popa e recolhidas pela proa ou lateral da embarcação, através de guinchos hidráulicos e mecânicos (figura 4.5) para liberar e recolher a linha principal. Em embarcações de pequeno porte o recolhimento do espinhel é feito de forma manual. A isca utilizada neste petrecho pode ser levada no porão congelada ou salgada em compartimentos do convéns.



**Figura 4.5:** Tambor com guincho hidráulico utilizado no lançamento e recolhimento do espinhel.

**Fonte:** (KOTAS; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2005).

#### **4.3 Justificativa da escolha da pesca de espinhel de fundo**

A modalidade de pesca espinhel de fundo foi escolhida pela possibilidade de obter uma excelente representatividade do total de embarcações de espinhel de fundo que opera nos portos do Estado do Rio de Janeiro.

A coleta de dados foi realizada em uma amostra composta por dezessete embarcações de espinhel de fundo, que representa 100% da frota pertencente ao Estado do Rio de Janeiro, ou 76% do total de embarcações de espinhel de fundo que descarregaram nos portos monitorados do Estado (seção 4.1).

Além disso, apesar de apresentar um número reduzido de embarcações, a frota de espinhel de fundo é responsável pela captura de peixes de alto valor agregado, que figuram entre os mais demandados pelo mercado consumidor (FIPERJ, 2013b).

Outra razão para esta escolha é o perfil característico da pesca de espinhel. Como foi explicitado anteriormente, o consumo de combustível de uma embarcação pesqueira depende, entre outros fatores, de seu perfil operacional. Este, por sua vez, dependerá do método de pesca adotado.

O modo de operação da pesca de espinhel combina períodos de alta velocidade (lançamento e recolhimento das linhas), com períodos de baixa demanda de energia (espera), além dos períodos de navegação entre as zonas de pesca em uma velocidade maior. Com isso, suas embarcações possuem grande potencial para a utilização de propulsão diesel elétrica ou puramente elétrica, incluindo algum sistema de

armazenamento de energia (baterias ou células a combustível), e uso de fontes alternativas de energia (solar ou eólica), como proposto em alguns estudos (FERNÁNDEZ et al., 2010; LOGASON, 2015).

Essas características tornam esse tipo de embarcação promissora para ser enquadrada em programas de uso mais eficiente do combustível, resultando em uma redução no consumo de combustível fóssil e emissão de gases poluentes.

## **5 Estudo de caso do consumo de energia da frota de espinhel de fundo do Estado Rio de Janeiro**

Este capítulo irá apresentar a metodologia utilizada para estimar o consumo de energia e as emissões de GEE da frota de espinhel de fundo, com base em dados coletados em uma pesquisa de campo realizada no Estado do Rio de Janeiro. A partir destes dados, também será realizada uma análise comparativa do seu indicador de intensidade energética “IUC” (definido no capítulo 2; subseção 2.3.2) com o de outros tipos de frotas pesqueiras, estimados e publicados em diversos estudos internacionais.

### **5.1 Perfil operacional da pesca de espinhel**

A primeira etapa para a realização dos cálculos de consumo de combustível foi a definição de um perfil operacional típico para a pesca de espinhel.

O perfil foi definido com base em informações obtidas na pesquisa de campo e fontes bibliográficas (artigos, teses, relatórios e documentos técnicos de instituições especialistas no setor pesqueiro, como FIPERJ, MAPA, IBAMA, FAO) sobre as características e o modo de operação da pesca de espinhel.

Uma viagem de pesca típica de uma embarcação de espinhel consiste em diversas situações de operações para diferentes condições de carga do motor. Enquanto se deslocam rapidamente para e entre as zonas de pesca, as embarcações viajam a uma velocidade menor durante o lançamento e recolhimento das linhas.

As principais atividades de uma viagem de pesca típica foram divididas em duas fases: acesso e captura.

A fase de acesso inclui a partida, os possíveis deslocamentos entre as zonas de pesca e a volta ao porto de desembarque.

Assim, a fase de acesso pode ser desagregada nas seguintes etapas:

- Ida: deslocamento entre os portos de embarque e os locais de pesca;
- Deslocamento entre pesqueiros: deslocamentos eventuais entre diferentes pesqueiros;
- Volta: deslocamento entre o último pesqueiro e o porto de desembarque;

A fase de captura dos peixes compreende as etapas de lançamento, espera e recolhimento da linha. Estas etapas podem se repetir várias vezes ao longo de uma viagem de pesca, sendo definida como “lance de pesca”.

- Lançamento: momento de lançamento das linhas com anzóis e iscas para a captura dos peixes;
- Espera: período em que a embarcação espera a atração dos peixes para o posterior recolhimento das linhas. Nesta etapa, a embarcação normalmente desliga o seu motor principal ou permanece em velocidade reduzida;
- Recolhimento: consiste no recolhimento das linhas com os peixes físgados para seu desembarque na embarcação.

## **5.2 Obtenção de dados – Pesquisa de campo**

A coleta de dados foi realizada em uma amostra de dezessete embarcações de espinhel de fundo que operam no Rio de Janeiro, durante campanhas de campo em 2015 e 2016.

Para a realização destas campanhas de campo, foi desenvolvido um plano de trabalho em conjunto com a FIPERJ, a partir de um termo de cooperação técnica para a elaboração e aplicação de questionários aos pescadores e armadores.

Os questionários (Anexo I) foram elaborados em conjunto com especialistas da FIPERJ e aplicados aos armadores e pescadores que operam embarcações da frota de espinhel de fundo no Cais Sardinha 88, localizado na Ilha da Conceição no município de Niterói.

O Cais Sardinha 88 é o maior cais pesqueiro de Niterói, cidade que abriga a maior diversidade de frotas pesqueiras do Estado do Rio de Janeiro (FIPERJ, 2013b). Sua área atual de desembarque é de 1.364 m<sup>2</sup> e acostagem de 170 m de comprimento construída de concreto, onde recebe embarcações de pequeno à grande porte, das frotas de arrasto duplo, vara e isca-viva, espinhel, linha e cerco. No mesmo terreno localiza-se a sede do Sindicato dos Armadores de Pesca do Estado do Rio de Janeiro – SAPERJ, escritórios do Sindicato dos Pescadores dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo – SIPERJES e da Associação de Pregoeiros de Niterói – APANIT, uma sala de rádio costeira, lanchonete, portaria e área de abastecimento de combustível. A figura 5.1 mostra a localização do terminal no município de Niterói, próximo a Ponte Rio Niterói, principal via de acesso para a cidade do Rio de Janeiro.



**Figura 5.1:** Localização do Cais Sardinha 88 no Município de Niterói.  
**Fonte:** (GOOGLE EARTH, 2017)

As tabelas 5.1 e 5.2 mostram as principais informações relativas às características das embarcações, seus motores e modos de operação em cada etapa de uma viagem de pesca.



**Tabela 5.1** – Parâmetros das embarcações da pesca de espinhel de fundo que operam no Estado do Rio de Janeiro.

Embarcação	Comprimento (m)	Fabricante/Modelo motor	Potência do motor (hp)	RPM <sub>máx</sub> do motor	Consumo de combustível (L)	Dias-mar
1	14,00	Mercedes	160	2.000	3.294	14,5
2	14,00	Mercedes 366	140	2.000	3.059	20,5
3	13,65	Mercedes 366 – 16/20 – powered	208	2.600	4.118	22
4	13,50	Mercedes 352	120	4.000	2.000	17
5	16,30	Scania 240	240	2.000	2.706	18
6	16,27	Scania 290	290	2.000	4.118	23
7	17,00	Scania	190	2.700	2.941	18
8	16,00	Scania 240	240	2.500	2.500	17,5
9	22,00	Scania 110	110	2.000	4.706	20
10	13,70	Cummins – c series – 220	220	2.000	2.800	25
11	15,00	Cummins 360	360	2.000	6.471	25
12	13,88	MWM 229	95	2.500	2.588	22
13	12,50	MWM 229 6 cylinders	180	2.500	2.941	16
14	13,70	MWM 229	290	2.500	3.294	18
15	14,08	MWM 6 cylinders – série 10	180	2.500	4.412	25
16	14,50	MWM 6 cylinders – série 10	220	2.500	3.529	20
17	14,00	MWM 229 6 cylinders	120	2.500	2.200	20
Média	14,95	-	198	2.400	3.393	20

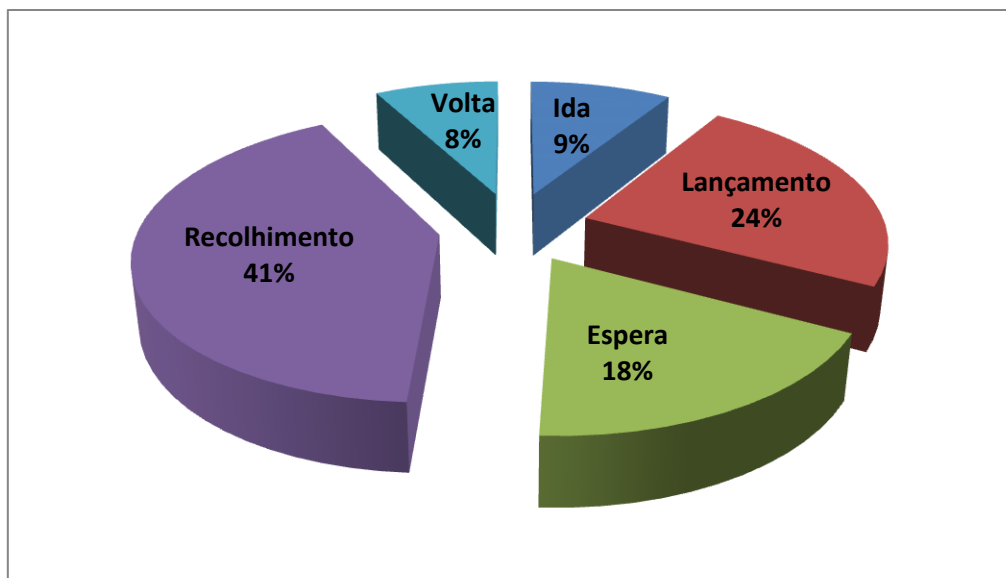
A escolha dos locais, assim como o número de zonas de pesca percorrido pelas embarcações são decisões específicas de cada viagem de pesca, pois dependem de fatores como a disponibilidade de recursos marinhos no local, fatores climáticos, entre outros. A quantidade de pescadores e o tempo necessário que uma embarcação necessita para se deslocar entre eles , por exemplo, varia amplamente e é relativamente imprevisível. Desta forma, o consumo de combustível na etapa de deslocamento entre pescadores não foi considerado nesta análise.

**Tabela 5.2-** Resumo dos dados de desempenho da frota de espinhel de fundo.

Embarcação	Dias Efetivos de Pesca	N° de Lances/Dia	N° de Lances/Viagem de pesca	Tempo (h) por Etapas				
				Ida	Lançamento	Espera	Recolhimento	Volta
1	12	3	36	18	54	54	108	18
2	16	2	32	30	64	32	96	10
3	19	2	38	48	44	49	152	48
4	15	2	29	42	48	44	87	26
5	17	3	51	26	77	9	111	10
6	19	3	56	24	74	23	139	22
7	16	3	48	12	108	14	120	12
8	13	3	39	12	88	26	98	12
9	17	3	51	48	77	77	204	48
10	20	2	40	36	53	60	160	24
11	20	4	80	84	140	53	240	36
12	18	3	53	36	79	22	79	36
13	11	2	22	18	55	220	132	15
14	14	3	42	7	56	21	105	13
15	20	3	60	15	120	30	180	5
16	15	3	45	24	101	14	113	84
17	16	3	48	10	96	24	128	10
<b>Média</b>	<b>16</b>	<b>2,76</b>	<b>45</b>	<b>29</b>	<b>78</b>	<b>45</b>	<b>132</b>	<b>25</b>

**Fonte:** Elaboração própria.

A figura 5.2 a seguir apresenta a distribuição do tempo médio que as embarcações da amostra analisada gastam em cada etapa de uma viagem típica de pesca.



**Figura 5.2:** Distribuição do tempo gasto em cada etapa de uma viagem típica de pesca.  
**Fonte:** Elaboração própria.

Pode-se perceber que as embarcações em questão permanecem, em média, 17% de seu tempo em viagem (ida e volta às zonas de pesca) e 83% em atividades de pesca, onde a etapa de recolhimento do espinhel é a que consome maior tempo.

Outro parâmetro necessário para a estimativa do consumo de combustível em cada etapa de operação é o consumo específico de combustível (CEC). O CEC representa a quantidade de combustível requerida para produzir uma unidade de potência por unidade de tempo, usualmente expresso em (l/hp-h). Ele é obtido pelas curvas características dos motores fornecidas pelos fabricantes, que relacionam a potência consumida com a sua respectiva rpm e torque. Para elaboração destas curvas são efetuadas medições do consumo em diferentes condições de carga e rpm, possibilitando traçar uma curva de consumo para o motor em questão. Apesar de variar de motor para motor, a curva de consumo específico de combustível apresenta seu valor mínimo no ponto de torque máximo. Em geral, isso ocorre nas condições de carga em torno de 80% da potência nominal e na faixa de 70% a 80% de sua rpm máxima (GULBRANDSEN, 2012; PEREIRA, 2011; WILSON, 1999).

Nas dezessete embarcações analisadas, foram identificados motores de quatro fabricantes: Mercedes, MWM, Cummins e Scania. Devido às informações incompletas nas bases de dados disponíveis dos motores (sobretudo dos motores mais antigos) a respeito das características técnicas e operacionais, especialmente das curvas de consumo de combustível específicas dos motores identificados na pesquisa, o CEC foi

estimado a partir de curvas de motores dos mesmos fabricantes com potências próximas às identificadas na pesquisa (ver Anexo II). Em todos os cálculos que utilizaram o CEC destas curvas, foram consideradas a potência e rpm máximas destes motores.

### **5.3 Métodos de estimativa do consumo de energia para propulsão por etapas de uma viagem de pesca**

Quatro métodos foram usados para estimar o consumo de combustível para propulsão da frota de espinhel por etapas de uma viagem característica deste tipo de pesca. Os resultados obtidos foram comparados entre si e com os levantados através da pesquisa de campo.

A avaliação baseou-se no cálculo e comparação do erro percentual absoluto médio (EPAM) de cada método. A medição e avaliação de erros de estimação irão determinar a precisão do método utilizado, ou seja, indicam a proximidade entre os dados reais e os estimados.

#### **5.3.1 Método 1**

O método 1 é baseado em uma equação presente em “*Fuel Savings for Small Fishing Vessels*: a manual; página 10; apêndice 3” (GULBRANDSEN, 2012), um guia de referência em pesquisas e práticas adotadas para a redução do consumo de combustíveis em embarcações de pesca publicado pela FAO.

Este método utiliza a seguinte equação para a estimativa do consumo de combustível:

$$C = P \cdot (RPM/RPM_{\text{máx}})^3 \cdot CEC \cdot t \quad (5.1)$$

Onde:

C = consumo de combustível por embarcação em uma determinada etapa ou viagem de pesca, [l];

P = potência máxima do motor da embarcação, [bhp];

RPM = velocidade de rotação do motor em determinada etapa;

RPM<sub>máx</sub> = velocidade máxima de rotação do motor;

CEC = consumo específico de combustível; representa a quantidade de combustível requerida para produzir uma unidade de potência por unidade de tempo, [l/hp.h];

t = tempo de operação de uma embarcação em uma determinada etapa, [h].

Conforme a velocidade de rotação (rpm) do motor varia, a curva de potência do motor acompanha a curva do propulsor, e a potência no propulsor varia com o cubo da rpm. A relação  $(rpm/rpm_{m\acute{a}x})^3$  é definida como *propeller shaft power fraction* e indica a redução na potência consumida pelo motor quando a sua rpm é reduzida.

### 5.3.2 Método 2

O método 2 está disponível em *Fisherman's Workbook* (PRADO; DREMIÈRE, 1990). Este manual foi preparado pelo Serviço de Tecnologia da Pesca; Divisão das Indústrias da Pesca do Departamento da FAO, que apresenta referências sobre os principais materiais, equipamentos e tecnologias utilizados no setor pesqueiro.

Sua equação é a seguinte:

$$C = P \cdot c \cdot CEC \cdot t \quad (5.2)$$

Onde:

C = consumo de combustível por embarcação em uma determinada etapa ou viagem de pesca, [l];

P = potência máxima do motor da embarcação, [bhp];

c = coeficiente de utilização do motor; possui um valor médio de 0,75, variando entre 0,7 e 0,8 em navegação e 0,5 e 0,8 no momento da pesca;

CEC = consumo específico de combustível do motor; representa a quantidade de combustível requerida para produzir uma unidade de potência por unidade de tempo, [l/hp.h];

t = tempo de operação de uma embarcação em uma determinada etapa, [h].

O consumo nas diferentes etapas foi calculado considerando os valores mínimos do coeficiente c, ou seja, 0,5 para a fase de captura e 0,7 para a fase de acesso aos pesqueiros. Mesmo com esses valores, os resultados obtidos com o Método 2 foram os mais elevados entre todos os métodos.

### 5.3.3 Método 3

O Método 3 é o procedimento usado pelo governo brasileiro através do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para estimar a quantidade de combustível consumido pelas frotas pesqueiras nacionais, que possam se enquadrar no programa de subvenção econômica ao preço do óleo diesel existente no país.

Neste método, a quantidade de combustível consumida em cada etapa de uma viagem de pesca foi estimada seguindo uma equação geral estabelecida pelo MPA na

Instrução Normativa nº 10, de 14 de outubro de 2011 (BRASIL, 2011), descrita a seguir:

$$C = P \cdot CEC \cdot t \quad (5.3)$$

Onde:

C = consumo de combustível por embarcação em uma determinada etapa ou viagem de pesca, [l];

P = potência máxima do motor da embarcação, [bhp];

CEC = consumo específico de combustível do motor; representa a quantidade de combustível requerida para produzir uma unidade de potência por unidade de tempo (valor constante definido como 0,0963 l/hp.h para todas as modalidades de pesca);

t = tempo de operação de uma embarcação em uma determinada etapa, [h].

A Instrução Normativa nº 10 tem como objetivo principal regulamentar a subvenção econômica ao preço do óleo diesel consumido por embarcações pesqueiras nacionais, em que compete ao MPA fixar a cota anual de óleo diesel, quantificada em litros e por embarcações, estabelecendo uma cota média anual, considerando: a modalidade de pesca e o consumo possível pela potência do motor (BRASIL, 2011). Deste modo, o método de cálculo das cotas anuais de combustível foi estabelecido segundo a equação 5.3, tomando como base o tempo despendido em operações de pesca pelas embarcações no período de um ano e o consumo médio de combustível calculado de acordo com a potência do motor.

#### 5.3.4 Método 4

A metodologia de cálculo do Método 4 foi baseada em (TYEDMERS, 2001). Os valores do consumo de combustível em uma viagem de pesca, obtidos na pesquisa de campo, foram relacionados com o esforço de pesca (definido como o produto da potência do motor pelo total de dias que a embarcação permanece no mar) através de uma equação de regressão linear:

$$Y = a \cdot x \quad (5.4)$$

Onde:

Y = consumo de combustível total em uma viagem de pesca, obtido na pesquisa de campo, [l];

$x$  = esforço de pesca: produto da potência do motor principal pelo total de horas que a embarcação permanece no mar, [bhp.horas-mar];

$a$  = coeficiente angular da reta, que representa o consumo específico de combustível (CEC), [l/bhp.horas-mar];

Vale ressaltar que a reta de regressão foi “forçada” a passar pela origem, pois parte-se do pressuposto de que não há consumo de combustível quando a potência do motor ou o tempo for zero.

Com o valor do coeficiente  $a$  calculado, o consumo de combustível nas etapas de uma viagem de pesca foi estimado com a mesma equação (5.3) usada no Método 3.

#### **5.4 Medida do erro de estimação: Comparação entre os métodos de estimativa do consumo pelo erro percentual absoluto médio**

Após submeter a amostra de dados às metodologias de estimação propostas, foi realizada uma análise comparativa entre cada um dos métodos utilizando como medida de desempenho o erro percentual absoluto médio (EPAM). O EPAM expressa o erro absoluto médio como uma porcentagem do valor real:

$$EPAM_n = \frac{\sum_{e=1}^n \left| \frac{E_e}{Y_e} \right| \cdot 100}{n} \quad (5.5)$$

Onde:

$E_e$  = erro de estimativa para cada embarcação. É a diferença entre o valor de consumo informado e o estimado;

$Y_e$  = consumo de combustível total informado de cada embarcação;

$N$  = número total de embarcações na amostra.

A Tabela 5.3 mostra os valores estimados do CEC de cada embarcação por etapas de uma viagem de pesca utilizados nos cálculos dos métodos 1 e 2. Estes valores foram estimados com base nas curvas de consumo específico de combustível disponíveis (Anexo II) dos mesmos fabricantes dos motores das embarcações da amostra.

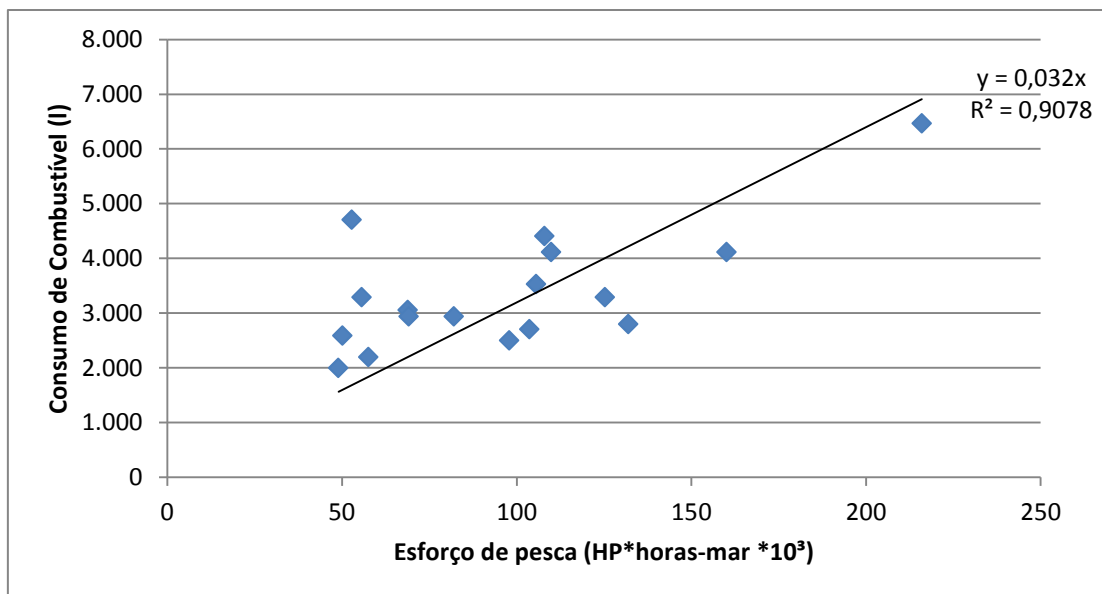
**Tabela 5.3** – Parâmetros utilizados para a estimativa do consumo de combustível de uma viagem de pesca.

Motores/Etapa			Ida		Lançamento		Espera		Recolhimento		Volta	
Embarcação	Potência Motor (bhp)	RPM <sub>máx</sub> Motor	RPM	CEC	RPM	CEC	RPM	CEC	RPM	CEC	RPM	CEC
1	160	2.000	1.600	0,182	1.200	0,193	800	0,193	1.200	0,193	1.600	0,182
2	140	2.000	1.700	0,191	1.700	0,191	0	0	2.000	0,193	1.700	0,191
3	208	2.600	1.500	0,182	1.500	0,182	1.000	0,193	1.100	0,193	1.500	0,182
4	120	4.000	3.000	0,204	2.250	0,196	1.500	0,191	1.500	0,191	3.000	0,204
5	240	2.000	1.250	0,178	1.200	0,178	0	0	800	0,184	1.200	0,178
6	290	2.000	1.500	0,177	1.500	0,177	700	0,180	1.100	0,174	1.500	0,177
7	190	2.700	2.000	0,199	1.150	0,175	0	0	950	0,173	2.000	0,199
8	240	2.500	1.800	0,177	1.150	0,186	800	0,184	950	0,182	1.800	0,177
9	110	2.000	1.650	0,179	1.400	0,178	1.200	0,177	1.350	0,192	1.550	0,182
10	220	2.000	1.475	0,231	1.500	0,231	500	0,412	850	0,412	1.500	0,231
11	360	2.000	1.600	0,185	1.600	0,185	5	0,194	1.300	0,190	1.600	0,185
12	95	2.500	1.800	0,199	1.700	0,198	700	0,202	1.500	0,200	1.800	0,199
13	180	2.500	1.400	0,175	1.700	0,171	0	0	1.250	0,184	1.600	0,172
14	290	2.500	1.400	0,179	1.400	0,179	800	0,211	1.200	0,192	1.800	0,178
15	180	2.500	1.550	0,173	1.300	0,179	800	0,184	1.450	0,175	1.200	0,184
16	220	2.500	1.200	0,222	1.150	0,222	500	0,222	950	0,222	1.200	0,222
17	120	2.500	1.500	0,200	1.500	0,200	0	0	850	0,202	1.500	0,200
Média	198	2.400	1.643	0,190	1.465	0,189	547	0,205	1.194	0,203	1.650	0,191

No Método 3 foi considerado o valor fixo de 0,0963 l/hp-h fornecido pelo MAPA (BRASIL, 2011) para todas as etapas de pesca. No Método 4 o CEC foi definido como o coeficiente angular da reta de regressão obtida da relação entre o esforço de pesca e o consumo de combustível total de cada embarcação em uma viagem de pesca. O coeficiente angular da linha de regressão que melhor se ajusta a estes pontos representa o valor para a estimativa do CEC de 0,032 l/hp.horas-mar (figura 5.3).

Com isso, foi possível estimar o consumo de combustível por etapas de uma viagem de pesca para cada embarcação.





**Figura 5.3:** Relação esforço de pesca x consumo de combustível em uma viagem de pesca.

Os quatro métodos testados foram submetidos a uma análise comparativa baseada na avaliação do EPAM para determinar o método que melhor se ajusta à amostra analisada.

As tabelas 5.4 e 5.5 mostram os valores estimados de consumo de combustível total para cada embarcação, assim como as medidas de erro de cada método.

**Tabela 5.4** – Consumo de combustível total de uma viagem de pesca estimado pelos diferentes métodos para cada embarcação.

Embarcação	Consumo-Pesquisa de campo (l)	Resultados			
		Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
1	3.294	1.107	5.698	3.883	1.434
2	3.059	1.436	3.293	2.696	819
3	4.118	1.735	7.775	6.851	1.946
4	2.000	2.898	4.190	2.852	1.010
5	2.706	1.976	6.729	5.158	1.784
6	4.118	5.410	9.902	7.872	2.704
7	2.941	2.809	6.464	4.611	1.773
8	2.500	2.887	7.123	5.440	1.882
9	4.706	8.618	12.354	4.799	3.187
10	2.800	1.669	17.387	7.062	2.398
11	6.471	1.7804	22.053	17.334	5.596
12	2.588	1.491	3.690	2.301	1.544
13	2.941	1.387	5.022	3.813	1.351
14	3.294	1.492	7.196	5.637	1.846
15	4.412	1.938	7.812	6.067	2.149
16	3.529	1.341	10.914	7103	2.305
17	2.200	655	3.503	2.820	1.498

**Tabela 5.5** – Cálculo do EPAM para cada método de estimação de consumo de combustível.

Métodos de estimativa	EPAM (%)
1	55
2	140
3	64
4	40

**Fonte:** Elaboração própria.

A tabela 5.6 apresenta a estimativa do consumo médio de combustível da frota, de acordo com cada um dos quatro métodos para cada etapa de uma viagem de pesca. Em sua última linha, observa-se a comparação do consumo total estimado para uma viagem de pesca, com o consumo obtido na pesquisa de campo.

Os resultados obtidos com o Método 1 mostram que as etapas de lançamento e recolhimento são responsáveis pelo maior consumo de combustível, representando 66% do total de combustível consumido (excluindo o consumo no deslocamento entre as zonas de pesca).

Os métodos 2, 3 e 4 mostraram um perfil de consumo semelhante, onde a etapa de recolhimento foi a mais representativa, com quase metade do consumo médio da frota.

**Tabela 5.6** Comparação do consumo de combustível estimado com o consumo obtido na pesquisa de campo, em litros.

<b>Consumo (l)/Etapas</b>	<b>Consumo médio informado</b>	<b>Consumo médio: Método 1</b>	<b>Consumo médio: Método 2*</b>	<b>Consumo médio: Método 3</b>	<b>Consumo médio: Método 4</b>
Ida	-	609	834	577	208
Volta	-	437	724	483	177
<b>Total Acesso aos Pesqueiros</b>	-	<b>1.047</b>	<b>1.557</b>	<b>1.060</b>	<b>385</b>
Lançamento	-	1.082	1.584	1.549	567
Espera	-	91	561	427	163
Recolhimento	-	1.113	2.956	2.629	956
<b>Total Captura</b>	-	<b>2.286</b>	<b>5.101</b>	<b>4.605</b>	<b>1.687</b>
<b>Total Viagem de pesca</b>	<b>3.393</b>	<b>3.333</b>	<b>6.659</b>	<b>5.665</b>	<b>2.072</b>

(\*) Considerando o coeficiente “c mínimo”.

Os resultados mostraram que o uso de diferentes métodos para estimar o consumo de combustível de uma mesma frota pode produzir resultados com diferenças significativas.

Comparando os resultados obtidos pelos quatro métodos com o consumo verificado na pesquisa de campo com base no cálculo do EPAM, o Método 4 apresentou o melhor resultado, com um EPAM de 40% (tabela 5.5). Isto pode ser resultado da necessidade de inputs menos imprecisos para a sua formulação. São necessários somente os dados de tempo de uma viagem de pesca de cada embarcação, além das respectivas potências de seus motores e consumo de combustível total.

O consumo médio de uma viagem de pesca estimado pelo Método 1 foi o que apresentou o valor mais próximo do obtido na pesquisa de campo, porém com um EPAM um pouco superior ao do Método 4.

Como não foi considerado o consumo de combustível nas etapas de deslocamentos entre as zonas de pesca, o menor valor calculado pelo Método 4 de 2.072 litros está mais próximo da realidade. Caso calculássemos o consumo médio da frota através da equação (5.4), considerando a potência média dos motores (223 bhp) e o

número médio de dias-mar (20 dias), o valor estimado seria de 3.432 litros. Neste caso o consumo no deslocamento entre as zonas de pesca estaria incluso.

Pode-se notar que o Método 2 apresentou um EPAM bem superior ao dos demais métodos.

Mesmo considerando o coeficiente  $c$  mínimo de 0,7 para as etapas de acesso e 0,5 para as etapas de captura, o consumo de combustível estimado foi bem superior ao obtido na pesquisa de campo.

Uma potencial explicação é que o coeficiente  $c$  utilizado no Método 2 foi calculado com base em motores da década de 80, visto que está baseado na equação 5.2, disponível em (PRADO; DREMIÈRE, 1990). Atualmente, estes coeficientes deverão ser mais baixos em função da grande evolução tecnológica dos motores marítimos diesel que ocorreu nos últimos anos, reduzindo seu consumo de combustível (NOTTI et al., 2012; POUNDER; WOODYARD, 2004).

Analisando o consumo por etapas de uma viagem de pesca, é possível identificar as causas das diferenças encontradas entre os consumos estimados pelos quatro métodos. Além disso, a escolha do método e dos coeficientes mais adequados a serem utilizados também irá depender dos tipos de dados disponíveis e da utilização de parâmetros que mais se ajustam ao tipo de pesca analisada, como o uso de coeficientes mais apropriados para a estimativa do CEC. E

A possibilidade, por exemplo, de obter dados referentes à relação  $(rpm/rpm_{máx})^3$  dos motores das embarcações em cada etapa, permitiram a estimativa do consumo de combustível segundo o Método 1. Porém, vale ressaltar a alta incerteza na precisão dos dados de consumo e rpm informados pelos pescadores, o que contribuiu para um elevado EPAM calculado nos quatro métodos testados.

No entanto, o melhor resultado obtido com a aplicação do Método 4 mostra que, apenas com dados do consumo de combustível numa viagem de pesca e dados relativos à potência e tempo de operação em cada etapa, é possível fazer estimativas mais precisas.

Nas etapas de acesso aos pesqueiros, verifica-se que o Método 1 obteve resultados semelhantes aos do Método 3. Isto indica a equivalência entre o produto do CEC, estimado com base nos dados da rpm dos motores obtidos na pesquisa de campo, pela variável  $(rpm/rpm_{máx})^3$  com o valor fixo de 0,0963 l/hp-h adotado no Método 3.

Na fase de captura, alguns pescadores relataram que mantêm o motor desligado na etapa de espera, com rpm do motor igual a zero. Deste modo, foi considerado um consumo nulo na etapa de espera para estas embarcações em todos os métodos, apesar de somente o Método 1 considerar a variável rpm do motor em sua fórmula.

O valor elevado de consumo estimado pelo Método 3 nas etapas de captura (lançamento, espera e recolhimento) mostra que, para o caso da pesca de espinhel de fundo, o CEC de 0,0963 l/hp-h está sobre-estimando o consumo nestas etapas. Neste caso, o valor calculado de 0,032 l/ hp.horas-mar no Método 4 a partir da linha de regressão parece ser o mais adequado.

O valor adotado para o CEC no Método 3 seria mais adequado para modalidades de pesca que exijam maiores níveis de potência e maior consumo de combustível na fase de captura, como é o caso da pesca de arrasto.

Segundo (GULBRANDSEN, 2012; NOTTI; SALA; BUGLIONE, 2011; PORT; ALVAREZ PEREZ; DE MENEZES, 2014), a pesca de arrasto possui um perfil diferenciado das demais, onde o processo de arrasto da rede consome maior quantidade de combustível devido a maior potência requerida do motor nesta etapa. É considerada uma modalidade de pesca de alto consumo de combustível, que pode utilizar três vezes mais energia durante a operação de arrasto propriamente dita, do que nos deslocamentos entre zonas de pesca.

Ademais, cada modalidade de pesca possui um perfil operacional característico e utiliza equipamentos específicos, que irá influenciar em um maior ou menor uso de combustível.

Portanto, a metodologia de cálculo adotada pelo Governo Brasileiro com a utilização de um valor único para o CEC em todas as modalidades de pesca pode gerar erros de estimativa.

Esta afirmação é sustentada por (TYEDMERS, 2001; WATANABE; OKUBO, 1989), os quais afirmam que duas embarcações com motores de mesma potência e operando pelo mesmo período de tempo, porém utilizando diferentes tipos de artes de pesca, irão consumir quantidades diferentes de combustível. A razão para esta diferença são os períodos relativos em que seus motores principais trabalham em diferentes níveis de potência.

O mais indicado a fazer seria a realização de cálculos baseados na metodologia do Método 4 para amostras de diferentes modalidades de pesca, de modo a obter um

valor de CEC mais adequado para cada uma e, conseqüentemente, estimativas de consumo de combustível mais precisas.

### **5.5 Consumo energético do sistema de conservação do pescado**

O método adotado na conservação do pescado nas embarcações também pode ser de fundamental importância na avaliação de alternativas para redução no uso de energia.

O resfriamento do pescado a bordo das embarcações pode ser realizado de várias maneiras, exigindo diferentes quantidades e tipos de energia. Para embarcações maiores, a energia necessária para a produção de gelo a bordo ou para a utilização de sistemas de refrigeração é fornecida por motores diesel. Para embarcações menores, no entanto, o gelo é frequentemente produzido em terra usando energia da rede elétrica (SCHAU et al., 2009). Todas as embarcações entrevistadas neste estudo afirmaram utilizar somente gelo produzido em terra e levado a bordo para conservação do pescado. Esta técnica consiste em intercalar camadas de peixe e gelo no porão de armazenamento. O indicador que representa a relação gelo consumido/captura desembarcada permite avaliar a eficiência energética do método de conservação do pescado, a partir do cálculo do consumo de energia necessário para a produção do gelo embarcado.

A energia necessária para produzir 1 kg de gelo com uma máquina comercial de fabricação de gelo pode variar de acordo com o equipamento utilizado. Considerando um valor de 80 kWh de energia necessária para produzir 1 t de gelo, baseado em (CBFI, 2017; MUIR, 2015), que admitem um consumo de 70 a 85 kWh, significa que será necessário 288 MJ ou o equivalente a 6,8 kg de diesel por cada tonelada de gelo<sup>11</sup>.

Tipicamente, 0,5 kg de gelo/kg de peixe (áreas temperadas) ou 1 kg de gelo/kg de peixe (áreas tropicais) é recomendado para a refrigeração adequada do pescado, podendo ser reduzida em 30% a 50% caso o porão for refrigerado (PRADO; DREMIÈRE, 1990; SHAWYER; MEDINA PIZZALI, 2003).

---

<sup>11</sup> A conversão de kWh para litros de diesel equivalente foi feita adotando-se um valor de 0,85 kg/l para a densidade do óleo diesel e 10.100 kcal/kg para o seu poder calorífico inferior (PCI), (EPE, 2010).

A captura média da frota analisada foi de 5,4 toneladas e a quantidade de gelo embarcada foi de 10,4 toneladas, o que representa uma relação de 1,92 toneladas gelo-peixe.

Esta relação resultou em um consumo equivalente médio de 828 kWh ou 83 litros de diesel (tabela 5.7). Vale ressaltar que a conversão da energia consumida para a produção do gelo em kWh para litros de diesel equivalente foi feita apenas com o objetivo de ter uma noção do equivalente em diesel da quantidade de energia necessária para a produção do gelo, considerando as propriedades físico-químicas do combustível (densidade e poder calorífico). Portanto, este consumo equivalente de diesel não representa a quantidade necessária de combustível para a produção de gelo com motores diesel, visto que, neste caso, deveriam ser consideradas suas eficiências.

Caso utilizassem a relação recomendada de 1:1 ou 1:2, o consumo seria reduzido para 432 kWh (43.3 litros de diesel) e 216 kWh (21.6 litros de diesel), respectivamente. Ou seja, uma redução de 48% ou 74% no consumo energético relativo à produção de gelo.

**Tabela 5.7** - Indicadores de consumo energético do sistema de conservação do pescado.

Embarcação	Gelo Embarcado (t)	Captura desembarcada (t)	Relação gelo/peixe (t/t)	kWh/gelo embarcado (t)
1	3	3,75	0,80	240
2	12	6,00	2,00	960
3	10	5,00	2,00	800
4	2	5,50	0,36	160
5	12	7,00	1,71	960
6	12	5,50	2,18	960
7	14	6,00	2,33	1.120
8	10	6,00	1,67	800
9	12	7,00	1,71	960
10	10	4,00	2,50	800
11	10	5,00	2,00	800
12	12	6,00	2,00	960
13	9	5,00	1,80	720
14	11	4,50	2,44	880
15	10	4,00	2,50	800
16	13	5,50	2,36	1040
17	14	6,00	2,33	1120
<b>Média</b>	<b>10,35</b>	<b>5,40</b>	<b>1,92</b>	<b>828</b>

**Fonte:** Elaboração própria.

## 5.6 Análise e comparação da intensidade do uso de combustível da frota de espinhel de fundo

A tabela 5.8 mostra os dados obtidos na pesquisa de campo relativos ao consumo de combustível e a quantidade de pescado capturado, utilizados para calcular o IUC da frota de espinhel de fundo.

**Tabela 5.8** - Intensidade do uso de combustível da frota de espinhel de fundo do Estado do Rio de Janeiro.

Embarcação	Combustível Consumido (l)*	Captura desembarcada (t)	Intensidade do Uso de combustível (l/t)
1	3.294	3,75	880
2	2.588	5,00	430
3	3.059	6,00	610
4	2.941	4,00	530
5	3.294	5,50	470
6	2.706	6,00	490
7	4.118	5,00	690
8	4.118	4,50	690
9	4.412	5,50	630
10	2.000	5,00	500
11	2.800	6,00	560
12	3.529	6,00	590
13	2.941	5,50	590
14	2.500	7,00	560
15	2.200	7,00	550
16	4.706	6,00	860
17	6.471	4,00	1.080
<b>Total</b>	<b>57.676</b>	<b>92</b>	<b>10.700</b>
<b>Média</b>	<b>3.393</b>	<b>5,40</b>	<b>630</b>

(\*) Nos casos em que o consumo de combustível foi informado em toneladas, a conversão para litros foi feita adotando-se uma densidade de 0,85 kg/l para o óleo diesel.

A IUC das embarcações variou entre 430 l/t e 1.080 l/t, com uma média de 630 l/t, valor bem próximo das estimativas globais de 620 l/t (TYEDMERS; WATSON; PAULY, 2005) e 639 l/t (PARKER; TYEDMERS, 2015).

Comparando com os valores de IUC relativos às diferentes artes de pesca apresentadas na tabela 2.2, podemos observar uma maior proximidade com as IUCs das pescas de redes de emalhe e linhas e anzóis (modalidade de pesca que inclui o espinhel, além das linhas de corrico e vara com linha).



A IUC encontrada neste estudo também apresentou similaridade com outros estudos em escala nacional de frotas pesqueiras com artes de pesca semelhantes, como as frotas de *longline* destinadas à captura de peixes demersais, em (TYEDMERS, 2001).

Os seus resultados mostraram um valor de 572 l/t para uma frota de *longline* da Noruega, com embarcações de comprimento médio igual a 15,1 metros, semelhante à média de 14,95 metros encontrada neste estudo.

Para duas diferentes frotas de *longline* da Islândia, foram encontrados valores de 538 l/t e 655 l/t. Entretanto, vale ressaltar que estas estimativas são referentes aos anos de 1997 e 1998.

Apesar da proximidade com o valor de 630 l/t estimado neste estudo para a frota de espinhel de fundo do Rio de Janeiro, aqueles estudos foram realizados cerca de vinte anos atrás, em uma época de tendência de alta na IUC, conforme explicado na subseção 2.3.2.

Os preços mais baixos dos combustíveis durante esses anos permitiram o uso mais intensivo de energia, visto que os aumentos modestos nos custos poderiam ser mais facilmente compensados por mudanças tecnológicas e operacionais (PARKER et al., 2015). Esta tendência tem sido revertida desde o início do século XXI. As frotas europeias, por exemplo, vem diminuindo sua IUC desde 2002 (CHEILARI et al., 2013).

(SCHAU et al., 2009; THOMSEN et al., 2010) avaliaram o consumo de combustível de frotas da Noruega (entre 2001 e 2004) e das Ilhas Faroé (entre 2001 e 2005) respectivamente. Nestes estudos a intensidade energética foi estimada através de um coeficiente de uso de combustível, expresso pela relação entre o peso de combustível e o peso de pescado desembarcado (kg de combustível/kg de pescado). Em (SCHAU et al., 2009) a frota de *longline* apresentou um valor médio de 0,31 (365 l/t)<sup>12</sup>, variando entre 0,17 (200 l/t) e 0,45 (529 l/t), enquanto que em (THOMSEN et al., 2010) o valor médio para embarcações de *longline* foi de 0,24 (282 l/t), variando entre 0,17 (200 l/t) e 0,60 (706 l/t). Ambos apresentaram uma IUC inferior ao valor médio calculado para as embarcações deste trabalho.

Estes exemplos indicam que há espaço para melhorias no desempenho energético da frota de espinhel deste estudo.

---

<sup>12</sup> Foi considerada uma densidade de 0,85 kg/l para o óleo diesel.

Por outro lado, estudos referentes à pesca de espinhel de superfície destinadas a captura de peixes pelágicos, especialmente de algumas espécies de atum, indicam uma IUC bem superior.

Isto é mostrado em algumas análises de (TYEDMERS, 2004), que apresentou dados deste tipo de pesca referentes ao início da década de 1980 e 1990, com uma IUC média de 3.400 l/t e 2.200 l/t respectivamente. Já (TYEDMERS; PARKER, 2012) estimaram que as embarcações de *longline* consomem em média, 1.069 litros de combustível por tonelada de peixe capturado.

Uma conclusão geral é que a IUC dos diferentes tipos de pesca é altamente variável, com diversos estudos apontando conclusões variadas e uma falta de padrões claros. É importante notar que as estimativas de IUC variam não só entre espécies, tipo de artes e local de pesca, mas também ao longo do tempo (TYEDMERS, 2004) e entre diferentes estudos e metodologias de pesquisa.

Um cenário mais claro do desempenho energético das frotas pesqueiras brasileiras exigirá análises mais detalhadas de frotas específicas e comparáveis, assim como o seu monitoramento ao longo do tempo para que possam ser identificadas suas tendências.

Dito isto, é possível fazer as seguintes conclusões experimentais:

- As embarcações que utilizam artes de pesca passivas e redes de cerco têm normalmente menor IUC que as embarcações com artes de pesca ativas. As pescas de arrasto, por exemplo, são mais intensivas que as pescas com rede de cerco destinadas a captura das mesmas espécies (GASCOIGNE; WILLSTEED, 2009; PARKER et al., 2015; SCHAU et al., 2009; TYEDMERS, 2001).
- A pesca de arrasto e a pesca de *longline* destinada à captura de grandes peixes demersais, geralmente apresentam maior IUC que as pescas de pequenos peixes pelágicos.
- Além do tipo de arte de pesca e a espécie alvo, outros fatores também irão afetar a quantidade de combustível consumida, como as técnicas operacionais, as distâncias entre os portos de embarque e desembarque e as zonas de pesca, bem como a idade e o modelo das embarcações e seus motores. Isso significa que dentro de um segmento de uma frota específica, pode haver variação significativa na eficiência do uso de combustível entre cada embarcação.

- A frota de espinhel de fundo deste estudo não pode ser considerada como a mais ou menos intensiva no uso de energia em comparação com frotas de outras regiões do mundo. Podemos observar que sua IUC foi semelhante à de outras modalidades de pesca passivas, como a rede de emalhe e de algumas modalidades que operam com linhas e anzóis, (modalidade que inclui a pesca de espinhel). Na comparação com outras análises regionais ou nacionais específicas de frotas de embarcações de longline (SCHAU et al., 2009; THOMSEN et al., 2010; TYEDMERS, 2001), a IUC foi semelhante ou superior. Além disso, é importante ressaltar que estes estudos foram realizados em períodos bem distintos, com outros cenários de preços de energia e desenvolvimento tecnológico (TYEDMERS, 2001) ou com embarcações de características e padrões operacionais diferentes (THOMSEN et al., 2010).

A alta variação encontrada na intensidade energética das diferentes frotas sugere que muitas poderiam obter melhorias significativas em seus consumos de combustível por unidade de captura, operando de modo parecido com as frotas similares mais eficientes.

Contudo, para um estudo mais aprofundado com relação à eficiência energética, questão fundamental para a sustentabilidade financeira e ambiental das diversas modalidades de pesca existentes é necessário maiores esforços na coleta e análise de dados referentes ao consumo energético de embarcações pesqueiras, especialmente no Brasil, onde poucos estudos desta natureza são encontrados.

### **5.7 Emissões de GEE – Método do IPCC ‘Tier 1’**

O método escolhido para estimar as emissões de GEE provenientes da frota pesqueira deste estudo foi um dos três métodos desenvolvidos pelo IPCC, denominado como Tier 1. Este é um método básico desenvolvido para ser usado em todas as categorias de transporte marítimo, com os fatores de emissão padrão fornecidos pelo IPCC. Além dos valores padrão do IPCC, este método também pode ser aplicado com fatores calculados com base em informações específicas de um determinado país ou região.

De acordo com o IPCC, a pesca está incluída no setor de transporte, classificada como transporte aquático de navegação com fonte de combustão móvel, o que requer o uso de fatores de emissões para fontes móveis ao invés de estacionárias (IPCC et al., 2006). Deste modo, o cálculo de emissões dos GEE é baseado na quantidade de

combustível consumido e nos fatores de emissão para os gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, e N<sub>2</sub>O (Equação 5.6) (IPCC et al., 2006):

$$\text{Emissões GEE} = \sum \text{Combustível Consumido} \cdot \text{Fator de Emissão} \quad (5.6)$$

O fator de emissão para o CO<sub>2</sub> utilizado neste estudo foi de 3,17 kg / kg de combustível ou 2,7 kg / l de combustível, com base no fator de emissão padrão de dióxido de carbono de 74.100 kg /TJ para o óleo diesel com conteúdo energético de 43,3 MJ/kg (IPCC et al., 1997, 2006). As emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram convertidas em Dióxido de Carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) pela multiplicação de cada componente pelo seu *Global Warming Potential* (GWP). A quantidade de emissão total de GEE foi obtida com a soma da emissão de CO<sub>2</sub> e a emissão de CO<sub>2</sub> equivalente relativo a cada gás, sendo expressa como CO<sub>2</sub>e. Os fatores de emissão para o CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram baseados nos fatores de emissão estimados para fontes e máquinas móveis europeias não rodoviárias; motores diesel operando em vias navegáveis interiores (IPCC et al., 1997) (tabela 5.9).

**Tabela 5.9** - Fatores de emissão e Global Warming Potential (GWP) por GEE diferentes do CO<sub>2</sub>.

Emissão	Fator de emissão (kg/l)	Global Warming Potential (GWP)
CH <sub>4</sub>	0,00015	28
N <sub>2</sub> O	0,00109	265

**Fonte:** Elaboração própria baseada em (IPCC et al., 1997).

## **6. Proposta de uso mais racional de energia em uma embarcação típica da frota de espinhel de fundo**

A instalação propulsora de uma embarcação é responsável por fornecer a energia necessária para movê-la com uma dada velocidade e permitir que a mesma realize atividades específicas envolvendo, por exemplo, arrasto, reboque ou lançamento e recolhimento de linhas de pesca (HARVALD, 1983; LEWIS, 1988).

A seleção adequada do sistema propulsor de uma embarcação é fundamental para aumentar seu desempenho propulsivo e, conseqüentemente, reduzir seu consumo de combustível. Este processo é obtido através do correto dimensionamento dos principais equipamentos envolvidos na produção, transmissão e aproveitamento de energia.

A escolha da máquina propulsora principal é, em geral, realizada a partir do conhecimento da potência necessária a ser entregue ao hélice, calculada depois do dimensionamento do propulsor (TRINDADE, 2012). Outros importantes parâmetros avaliados na escolha da máquina principal após o cálculo da potência requerida são o custo inicial, consumo de combustível, níveis de ruído e vibração, manutenção, quantidade de emissão de gases poluentes e o peso e rotação da máquina propulsora (MOLLAND; TURNOCK; HUDSON, 2011).

Neste capítulo, será apresentada a fundamentação teórica e os resultados obtidos para a estimativa da potência necessária na máquina motriz principal e da rotação do propulsor de uma embarcação pesqueira, com modo de operação e dimensões semelhantes às embarcações da amostra pesquisada.

Os cálculos da potência requerida no motor principal serão realizados para os sistemas propulsivos diesel e diesel elétrico, de modo que o consumo de combustível e a emissão de GEE possam ser estimados em cada um destes sistemas de acordo com o perfil operacional da frota analisada no capítulo 5.

## **6.1 Metodologia de seleção do motor e sistema propulsor de uma embarcação típica**

### **6.1.1 Estimativa da resistência ao avanço**

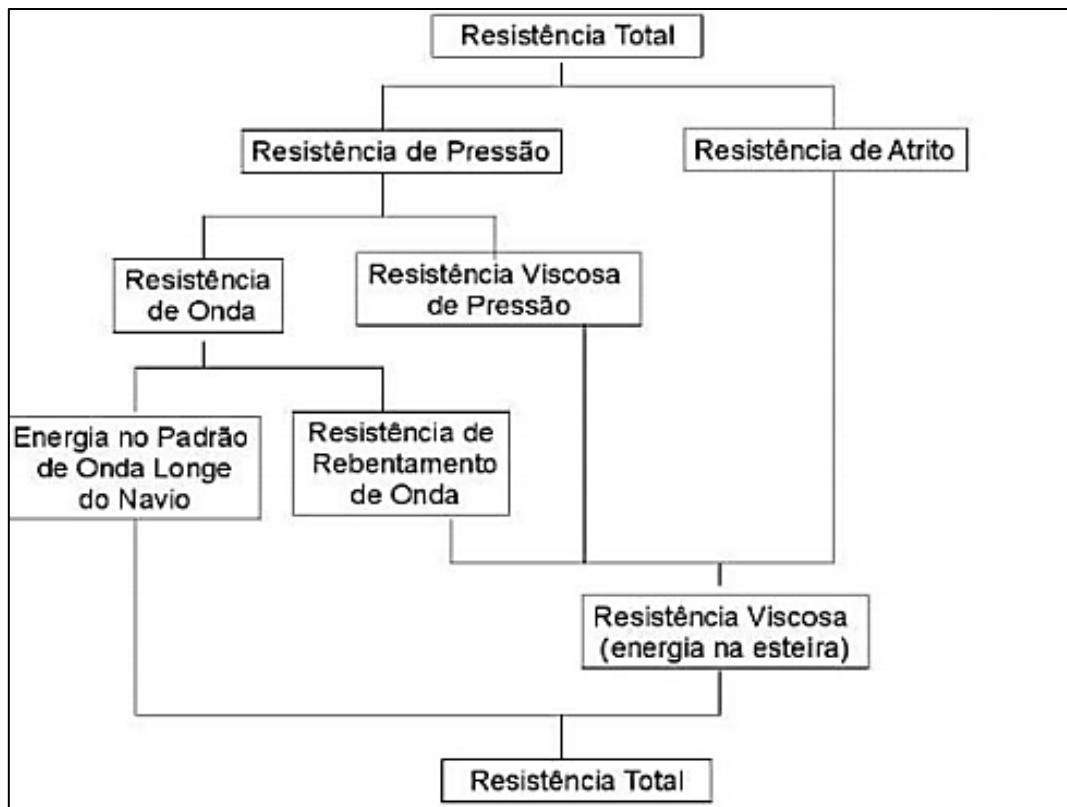
O primeiro passo para a seleção do sistema de propulsão de uma embarcação consiste na realização de uma estimativa da resistência ao avanço da mesma.

A resistência ao avanço de uma embarcação a uma velocidade constante é a força necessária para rebocá-la a essa velocidade em águas tranquilas.

Esta força age sobre o casco no sentido oposto ao da velocidade de deslocamento da mesma. É decorrente das forças associadas ao campo de pressões e cisalhamento ao redor do casco (decorrente do deslocamento nas águas) e da superestrutura<sup>13</sup> (decorrente da resistência ao avanço no ar da parte emersa do casco e superestruturas) durante o movimento da embarcação. Tradicionalmente, a força de resistência total é decomposta segundo os principais componentes apresentados na figura 6.1 (MENDES, 2015; SCHOEPING, 2014).

---

<sup>13</sup> Superestrutura é a construção feita sobre o convés principal, estendendo-se ou não de um bordo a outro da embarcação. A parcela da força de resistência que atua na superestrutura da embarcação é denominada resistência aerodinâmica.



**Figura 6.1:** Componentes da resistência ao avanço da embarcação.

**Fonte:** (MENDES, 2015).

- Resistência de onda: perda de energia devido à formação de determinados padrões de ondas criadas pela interação do casco e a água do mar;
- Resistência de atrito: está associada ao cisalhamento entre o casco e o fluido. Quando um corpo se move num fluido em repouso, uma fina camada de fluido adere ao corpo em movimento, ou seja, tem velocidade nula relativamente ao corpo. Esta camada de fluido segue com a mesma velocidade da embarcação e as camadas mais externas vão diminuindo de velocidade até chegar à velocidade da corrente livre. A distância da camada mais adjacente até a corrente livre é chamada de espessura de camada limite. Dentro da camada limite existe uma troca intensa de quantidade de movimento entre as partículas de fluido;
- Resistência viscosa de pressão: os efeitos viscosos do fluído geram uma distribuição de pressão na embarcação, que se opõe ao seu movimento;

Outras componentes adicionais da resistência que também são levadas em consideração no dimensionamento do sistema de propulsão são as seguintes (TRINDADE, 2012):

- Resistência aerodinâmica: contribuição das forças de resistência (integração das forças de pressão e cisalhamento) entre o ar e a superestrutura da embarcação;
- Resistência adicional de mar: surge devido às ondas que se chocam com a embarcação prejudicando o seu movimento de avanço;
- Resistência de apêndices: propulsor, leme, eixo em contato com água etc. provocam resistências adicionais que fazem parte da resistência ao avanço total.

Existem algumas maneiras de se obter estimativas confiáveis de resistência ao avanço, com métodos que podem ser empíricos, experimentais ou numéricos.

Os métodos experimentais são baseados em testes de modelos em escala reduzida para extrair informação que possa ser extrapolada para a escala do navio. Já a simulação numérica é feita através do emprego da mecânica de fluidos computacional com técnicas de CFD (*Computer fluid analysis*) para a simulação de escoamentos em torno do casco.

Os métodos de regressão utilizam uma extensa base de dados de diferentes embarcações para fornecer correlações para o cálculo da resistência ao avanço. Os resultados obtidos são depois expressos sob a forma de constantes, fórmulas, tabelas ou gráficos. As séries históricas utilizam alguma forma particular de casco para então mensurar sua resistência ou a potência efetiva.

Entre as principais séries históricas e métodos de regressão usados para embarcações de deslocamento (por exemplo, navios mercantes, rebocadores, embarcações de apoio *offshore* etc.), as seguintes se destacam (MOLLAND; TURNOK; HUDSON, 2011) *apud* (SCHOEPING, 2014): séries compiladas da *British Ship Research Association (BSRA)*; *Série 60*; *Average © Data e Holtrop e Mennen*.

Neste estudo, cujo foco é a análise de embarcações de deslocamento da frota de espinhel de fundo, decidiu-se trabalhar com o método de regressão proposto por “J. Holtrop e G.G.J. Mennem, 1982” (HOLTROP; MENNEN, 1982), o método mais utilizado em navios de deslocamento (SCHOEPING, 2014).

#### **6.1.1.1 Método de Holtrop e Mennen**

Holtrop realizou uma análise de regressão estatística a partir dos modelos e resultados do NSMB (“*Netherlands Ship Model Basin*”). O objetivo deste estudo foi desenvolver uma formulação teórica simplificada para o cálculo da resistência dos navios e os efeitos de escala entre os modelos e protótipos. O método foi considerado



insuficiente quando combinações não convencionais dos parâmetros principais eram usadas. Ao ajustar o modelo numérico original para dados obtidos em casos específicos, o método resultou numa formulação com uma faixa maior de aplicação. A extensão de sua base de dados permitiu a melhora da predição da potência de navios de altos coeficientes de blocos<sup>14</sup> com razões comprimento/boca (L/B) baixas e com complexo arranjo de apêndices e popa “transom”<sup>15</sup> submersa (HOLTROP, 1984). Desta forma, a aplicação deste método possui limitações quanto à faixa de valores de alguns parâmetros da embarcação, como mostra a tabela 6.1.

**Tabela 6.1-** Limitações para aplicação do Método de Holtrop.

Parâmetro	Mínimo	Máximo
Cp	0,55	0,85
Lwl/B	3,9	15
B/T	2,1	4
Fn	0,05	1

**Fonte:** (MENDES, 2015).

Onde:

Cp = Coeficiente prismático, que expressa a razão entre o volume deslocado pela embarcação e o produto da área da seção mestra pelo comprimento da linha de flutuação;

Lwl (*waterline length*) = Comprimento na linha de flutuação: Comprimento da embarcação medido no plano de flutuação de projeto;

B = Boca moldada da embarcação;

T = Calado médio da embarcação;

Fn = Número de Froude =  $\frac{v}{\sqrt{g.Lwl}}$  (número adimensional relacionado com o cálculo da

resistência ao avanço);

v = Velocidade de avanço da embarcação;

g = aceleração da gravidade;

As dimensões da embarcação (tabela 6.2) foram definidas com base nos principais parâmetros da amostra da frota de espinhel apresentada no estudo de caso

<sup>14</sup> Coeficiente de bloco é o principal fator de caracterização da forma do casco de uma embarcação. É definido como a razão entre o deslocamento (em base volumétrica) e o volume de um paralelepípedo de dimensões Lwl (comprimento na linha d'água), Bwl (boca máxima na linha d'água (*largest breadth on waterline*)) e T (calado).

<sup>15</sup> Parte reta da popa (região traseira) da embarcação.

descrito no capítulo 5, e que estivessem dentro da faixa de valores que permita a aplicação do Método de Holtrop e Mennem (tabela 6.1).

Para o cálculo da resistência por este método, é necessário estimar alguns parâmetros além das dimensões apresentadas na tabela 6.2. Assim, foi modelada uma forma característica deste tipo de embarcação no software *FreeShip* para a obtenção dos inputs necessários ao método de Holtrop e Mennem, que estivessem dentro da faixa de valores que permita a aplicação do método.

A tabela 6.3 ilustra a planilha utilizada para o cálculo da resistência ao avanço e outros parâmetros necessários pelo Método de Holtrop.

**Tabela 6.2 - Dimensões principais da embarcação.**

Comprimento total (m)	14
Boca (m)	3,53
Calado (m)	1,5
Velocidade de serviço (kn)	6

**Fonte:** Elaboração própria.

**Tabela 6.3 - Planilha de dados de cálculos pelo Método Holtrop e Mennem.**

Planilha de Cálculo do Método de Estimativa de Potência Propulsiva por J. Holtrop e G.G.J. Mennem e seleção de propulsor Série B				
Dos trabalhos:		A statistical re-analysis of resistance and propulsion data. (J.Holtrop)		
		Further Computer-analyzed data of the Wageningen B-screw series. (MWC Oosterveld)		RT (KN) 2,722
OBS: Apenas os valores em azul devem ser modificados.				
Características Principais do Navio:		Dados do propulsor Série B:		Cálculo
Tipo do Navio: Navio Holtrop		Diâmetro do Propulsor: (m)	0,75	Coef. Força Propulsiva (KTs): -0,06817
Comp. perpendiculares: (m)	12,5928	Número de Pás do Propulsor:	3	Coef. Torque (KQs): -0,00071
Comp. Linha D'água: (m)	12,7200	Profundidade do eixo (m):	1,125	Coef. avanço (J): 0,8168
Boca Moldada: (m)	3,1800	Rotação:	270,5	Veloc. avanço (Va) [m/s]: 2,7619
Calado Moldado na PV: (m)	1,5000	Razão de Áreas Fa/F:	0,60	Torque do propulsor (Q) [KN.m]: 0,00
Calado Moldado na PR: (m)	1,5000	Razão passo diâmetro:	0,60	Diferença Forças Propulsivas: -3,963
Vol. Desloc. Moldado: (m3)	15,9000	RESULTADOS		
LCB rel. à PR: (m)	6,2300	CASCO:		
Área Transv. do Bulbo (m2):	0,0001	Coef. Esteira (w):	0,10523	Eficiência propulsiva: 0,000867
Altura Centro Área Bulbo: (m)	0,0001	Coef. Red. Força Prop. (t):	0,22518	Potência por hélice (THP): -1,44
Coef. Seção Mestra:	0,4428	Efic. Rot. Relativa (η <sub>r</sub> ):	1,00072	Potência por eixo (PHP): -1.440,53
Coef. Linha D'água:	0,8719	Potência Efetiva (EHP):	11,3	Potência por motor (BHP): -1.454,03
Área Transom: (m2)	0,0001	Eficiência do casco:	0,86594	
Área Apêndices: (m2)	1,0000	PROPULSOR:		MOTOR:
Parâmetro Forma de Popa:	0,0000	Rend. águas abertas (η <sub>0</sub> ):	0,0010	Margem de rotação (%): 5,00
Velocidade de serviço (nós)	6,0000	Força Propulsiva (KN):		Margem de mar (%): 15,0
Eficiência Mec.Transmissão:	0,9900			Margem de motor (%): 10,0
Quantid. motores:	1	Requerida:	3,5	Pot. Req. motor (MCR) [HP]: -1839,34
Quantid. propulsores:	1	Disponível:	-0,4	Rotação do motor (rpm): 307,18
		Cavitação: 5 % dorso	ok	

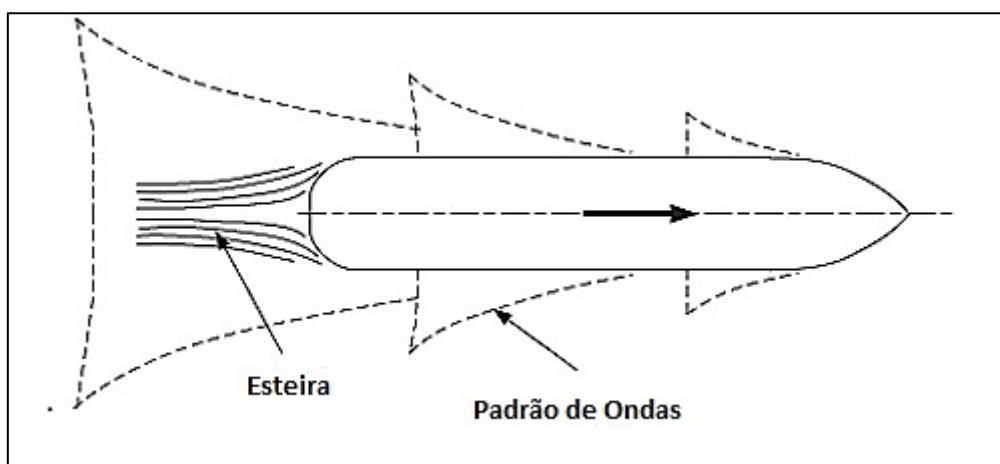
Os valores destacados em azul representam as dimensões e os coeficientes estimados a partir da modelagem da embarcação, e que são inseridos como dados de entrada na planilha para a obtenção da resistência ao avanço.

A potência efetiva ou de casco nu (sem a presença do hélice operando na popa do casco) da embarcação é definida como o produto da resistência total pela velocidade de serviço:

$$Pe = Rt.Vs \quad (6.1)$$

Além da  $Rt$ , outros outputs foram obtidos desta planilha: o coeficiente de esteira ( $w$ ), o coeficiente de redução de força propulsiva ( $t$ ), a eficiência do casco ( $\eta_h$ ) e a eficiência rotativa relativa ( $\eta_{rr}$ ). Estes dados são necessários para calcular as demais potências e eficiências exigidas no dimensionamento do hélice e motor de propulsão e serão definidos a seguir.

Segundo (HOLTROP; MENNEN, 1982), na passagem de uma embarcação sobre as águas, observa-se duas características no escoamento do fluido: um padrão de ondas se movimentando ao longo do casco e uma região de escoamento turbulento que cresce ao longo do comprimento da embarcação e se prolonga atrás do casco na forma de esteira. A figura 6.2 apresenta estas características do escoamento ao redor do casco.



**Figura 6.2:** Características do escoamento ao longo do casco.

**Fonte:** (MENDES, 2015).

O efeito do atrito entre a água e casco cria, portanto, uma “esteira”, que faz com que haja uma redução da velocidade da água que chega ao hélice do propulsor (a velocidade de esteira gerada tem mesma direção e sentido do movimento da embarcação, (CASSERES, 2018)).

Uma das consequências da esteira é que o propulsor avança relativamente à água a uma velocidade  $V_a$ , chamada de velocidade de avanço, menor que a velocidade de

serviço da embarcação. O coeficiente de esteira é utilizado para relacionar estas duas velocidades:

$$w = \frac{V_s - V_a}{V_s}$$

Assim, obtém-se a seguinte relação entre as velocidades:

$$V_a = V_s \cdot (1 - w) \quad (6.2)$$

A força produzida pelo hélice responsável por deslocar a embarcação sobre a superfície da água é chamada de empuxo ( $T$ ). Esta força de empuxo é avaliada a partir de ensaios experimentais para levantamento da resistência ao avanço no casco, realizados sem a presença do hélice em sua popa. A presença do hélice provoca um aumento na resistência da embarcação devido ao aumento da velocidade do escoamento e diminuição da pressão na popa do navio (TRINDADE, 2012). Isto significa que a força de empuxo  $T$  fornecida pelo hélice terá que superar a resistência total  $R_t$  da embarcação mais este aumento devido a presença do mesmo.

O coeficiente de redução da força propulsora  $t$  expressa este fator de aumento da resistência da embarcação devido à presença do propulsor, sendo definido como:

$$t = \frac{T - R_t}{T}$$

O empuxo requerido pela embarcação é expresso pela equação:

$$T = \frac{R_t}{(1 - t)} \quad (6.3)$$

O coeficiente  $t$ , conhecido como coeficiente de redução da força propulsora, reflete num entendimento equivocado de que ocorre redução de empuxo ao invés de aumento da resistência com a operação do hélice na popa do navio.

Em geral, o coeficiente  $t$  aumenta com o aumento do coeficiente de esteira, onde a forma do casco pode ter uma influência significativa em seu valor, que geralmente varia entre 1,2 e 3 para embarcações com um hélice, (MAN, 2012b).

A partir dos resultados obtidos do empuxo requerido e da velocidade de avanço, pode-se calcular a potência de empuxo fornecida pelo hélice à embarcação, definida pela seguinte equação:

$$P_t = T \cdot V_a \quad (6.4)$$

Onde:

$V_a$  = Velocidade de avanço da embarcação;

$P_t$  = Potência de empuxo fornecida pelo hélice;

Cada casco deve ser projetado de acordo com a finalidade da embarcação, podendo apresentar vários formatos. Esta característica torna a seleção do propulsor um projeto único para cada tipo de embarcação, tendo em vista a perturbação do fluido causada pela passagem do casco.

A eficiência do casco está relacionada com os efeitos de interação casco-hélice e representa a relação entre a potência associada ao empuxo fornecido pelo hélice e a potência do casco nu ou potência efetiva. É expressa pela seguinte relação:

$$\eta_h = \frac{P_e}{P_t} = \frac{(1-t)}{(1-w)} \quad (6.5)$$

### 6.1.2 Seleção do propulsor por séries sistemáticas

Após a estimativa de  $R_t$ ,  $P_e$  e  $P_t$ , projeta-se o elemento propulsor mais adequado para a embarcação. Na engenharia naval a escolha do propulsor varia de acordo com alguns requisitos de projeto, tais como: rendimento, interação com o casco e cavitação (TRINDADE, 2012). A seleção será feita com base no critério de escolha do propulsor com maior eficiência possível, operando dentro dos limites aceitáveis de cavitação.

Para a caracterização das condições de operação dos propulsores são realizados ensaios em água aberta, também conhecido como “*open water test*”. O modelo em escala reduzida do hélice é deslocado com velocidade de avanço  $V_a$  em um fluido em repouso em condições apropriadas de semelhança. São medidos valores da força propulsiva ( $T$ ) e torque ( $Q$ ) para vários regimes de funcionamento, que depois de adimensionalizados, constituem o “diagrama em águas abertas” (TRINDADE, 2012). O torque exigido e o empuxo gerado são adimensionalizados pela densidade da água ( $\rho$ ), rotação ( $n$ ) e o diâmetro ( $D$ ) do hélice, expressos respectivamente sob a forma dos coeficientes  $K_q$  e  $K_t$  em função do coeficiente de avanço ( $J$ ), representando a curva característica do propulsor.

Estes coeficientes representam relações adimensionais nas quais só dependem das características do propulsor, ou seja, sem a influência da esteira formada pelo casco, pois são testados sem a presença do casco, em condições no qual o fluxo que chega até ele é praticamente uniforme. Nestas circunstâncias, estes parâmetros são expressos pelas equações abaixo:

$$K_q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (6.6)$$

$$K_t = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (6.7)$$

$$J = \frac{V_a}{n D} \quad (6.8)$$

A eficiência em água aberta ( $\eta_o$ ) é definida pela razão entre a potência fornecida pelo propulsor ( $P_t = T.V_a$ ) e a potência entregue pelo eixo ao mesmo ( $P_d = 2\pi.Q. n$ ), de acordo com a equação 6.9:

$$\eta_o = \frac{T V_a}{2 \pi Q n} = \frac{J K_t}{2 \pi K_q} \quad (6.9)$$

A eficiência rotativa relativa representa a relação entre a eficiência do hélice operando na popa da embarcação ( $\eta_p$ ) e a eficiência do hélice no ensaio de água aberta ( $\eta_o$ ). O propulsor, em águas abertas, tem uma velocidade de fluxo uniforme na velocidade de avanço  $V_a$ . Como o propulsor opera próximo a popa do casco, há uma interação mútua entre os dois, o que altera a distribuição de velocidades do escoamento na região de operação do propulsor, gerando um torque diferente do torque em águas abertas.

A razão entre essas eficiências é chamada de eficiência rotativa relativa e é dada por:

$$\eta_{rr} = \frac{\eta_p}{\eta_o} = \frac{Q_o}{Q} \quad (6.10)$$

De acordo com (MONTFORT, 2014), essa diferença no torque é consequência de dois fatores principais. Primeiro, pela esteira heterogênea formada atrás do modelo, que gera condições diferentes de fluxo em cada seção da pá do propulsor. Segundo, pelo percentual de escoamento laminar e turbulento que deve ser diferente em águas abertas comparado ao propulsor atrás do casco, sendo a turbulência atrás do casco maior que em águas abertas.

#### 6.1.2.1 Série Sistemática de Wageningen

Os propulsores estudados são da série sistemática de Wageningen, também conhecida como B-Troost (BERNITSAS; RAY; KINLEY, 1981). Uma série sistemática consiste em ensaios com um conjunto de modelos de hélices obtidos através da variação sistemática de características geométricas e de operação. Estas séries apresentam o desempenho dos hélices na forma de diagramas permitindo a seleção do hélice que melhor se adequa a embarcação.

A série sistemática de Wageningen foi adotada neste estudo por ser uma das mais populares e a mais utilizada, pois cobre uma ampla faixa de aplicações e possui um grande número de estudos publicados (MENDES, 2015).

A nomenclatura dos hélices nesta série é representada primeiramente pela letra B, simbolizando a série. Em seguida aparecem o número de pás e a razão de área expandida. Exemplo: Hélice B- 4.45 (hélice da série B, com quatro pás e razão de área de 0,45).

Os propulsores da série B foram projetados e testados no NSMB, através da análise de múltiplas regressões polinomiais das características dos testes de águas abertas de 120 modelos de propulsores da série B, (OOSTERVELD; OOSSANEN, 1975). Os polinômios expressam os coeficientes de empuxo ( $K_t$ ) e de torque ( $K_q$ ) em função do número de pás do propulsor ( $Z$ ), da razão de áreas ( $A_e/A_o$ ), da razão passo-diâmetro ( $P/D$ ) e do coeficiente de avanço ( $J$ ). Os efeitos do número de Reynolds e da variação da espessura da pá nos propulsores também foram avaliados no NSMB.

O termo  $A_e/A_o$  consiste na razão de área do propulsor, onde:

$A_e$  = área expandida ou desenvolvida, que representa a soma das áreas das faces das pás do propulsor;

$A_o$  = área do quadrante =  $\pi.D^2/4$

A faixa de aplicações da série é apresentada a seguir:

- Número de pás:  $2 \leq Z \leq 7$ .
- Razão de área expandida:  $0,3 \leq A_e/A_o \leq 1,05$ ;
- Razão passo-diâmetro:  $0,5 \leq P/D \leq 1,4$ .

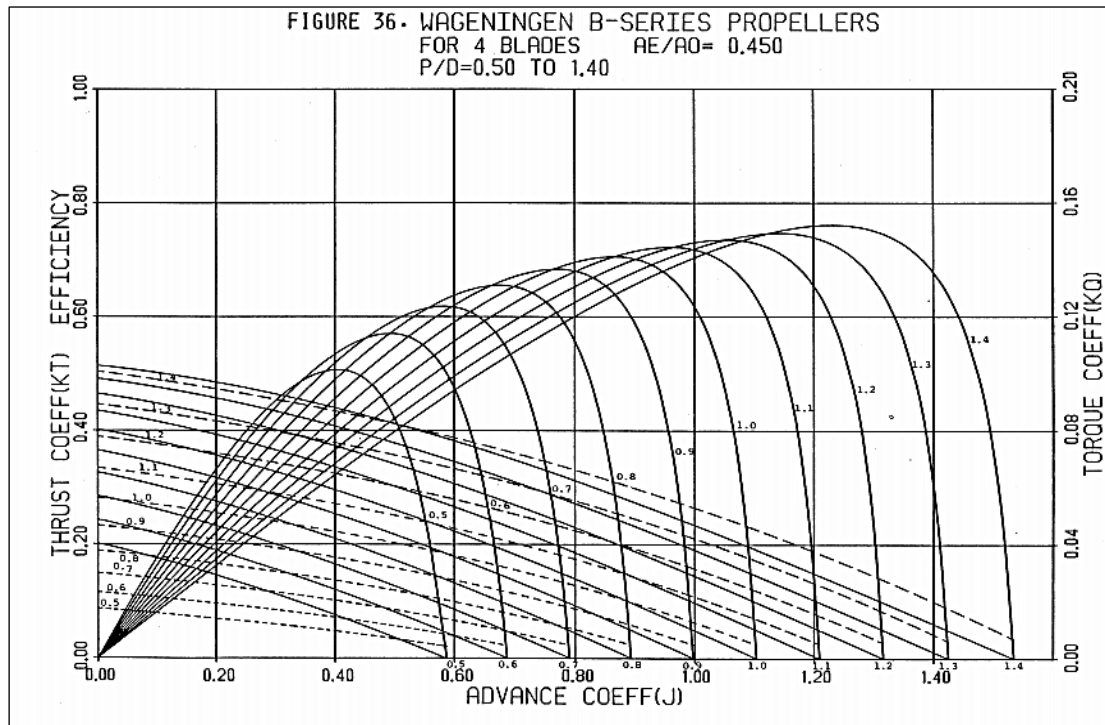
A figura 6.3 apresenta as equações dos polinômios gerados pela análise de regressão e a figura 6.4 mostra um exemplo de um diagrama da série B ( $Z = 4$  e  $A_e/A_o = 0,45$ ), para várias relações  $P/D$ . A tabela com os coeficientes polinomiais  $C_{s,t,u,v}^T$  e  $C_{s,t,u,v}^Q$  e os termos “s”, “t”, “u” e “v” está disponível no Anexo III.

$$K_{T-helice} = \sum_{s,t,u,v} C_{s,t,u,v} \cdot (J)^s \cdot (P/D)^t \cdot (A_E/A_o)^u \cdot (Z)^v$$

$$K_{Q-helice} = \sum_{s,t,u,v} C_{s,t,u,v} \cdot (J)^s \cdot (P/D)^t \cdot \left( \frac{A_E}{A_o} \right)^u \cdot (Z)^v$$

**Figura 6.3:** Representação polinomial dos coeficientes Kt e Kq dos hélices da Série B.  
**Fonte:** (MENDES, 2015).

Para números de Reynolds superiores a  $2,0 \cdot 10^6$  os valores de Kt e Kq devem ser corrigidos por:  $\Delta K_t (Re, J, P/D, A_e/A_o, Z)$  e  $\Delta K_Q (Re, J, P/D, A_e/A_o, Z)$ , dados no anexo IV.



**Figura 6.4:** Diagrama em águas abertas de um hélice da série sistemática B.  
**Fonte:** (BERNITSAS; RAY; KINLEY, 1981).

Este diagrama ilustra o desempenho do hélice para diferentes características geométricas e condições de operação. Sua formulação é feita com as curvas características dos diagramas de águas abertas, onde cada curva corresponde a uma razão passo-diâmetro diferente. Estes diagramas são utilizados em uma etapa preliminar de projeto para determinar o propulsor por meio de um procedimento de seleção cujas geometrias e desempenho são conhecidos (MENDES, 2015).



Esses polinômios serão utilizados na implementação computacional para a seleção do hélice capaz de produzir o empuxo necessário com maior eficiência.

#### **6.1.2.2 Determinação dos parâmetros do hélice: diâmetro; cálculo do coeficiente de empuxo requerido e da eficiência**

A estimativa do diâmetro do hélice pode ser baseada em uma porcentagem do calado. Através da observação de layouts e imagens de embarcações de espinhel, assim como da consulta a pescadores, armadores e especialistas da FIPERJ, verificou-se que esta porcentagem varia em torno de 40% a 60% do calado da embarcação.

Com isso, foram testados seis valores de diâmetro entre 0,6 m e 0,85 m para estimar os valores de  $\eta_o$  e selecionar o propulsor que, além de atingir o empuxo requerido com a máxima eficiência possível, esteja dentro dos limites aceitos de cavitação estabelecidos.

Estes valores estão dentro da faixa usual de diâmetro do propulsor de um barco de espinhel da frota do Rio de Janeiro.

Determinados os diâmetros teste, a etapa seguinte é estimar a eficiência do propulsor em água aberta ( $\eta_o$ ) com a utilização dos diagramas de águas livres. Foram escolhidos dez diagramas com número de pás entre 3 e 4 (mais comuns entre os hélices observados), para selecionar o propulsor com a eficiência máxima: B3-45; B3-55; B3-65; B3-75; B3-80; B4-40; B4-55; B4-65; B4-70; B4-85.

Para realizar os cálculos de dimensionamento do hélice foi utilizada uma macro em uma planilha excel. Os polinômios e seus respectivos coeficientes mostrados na figura 6.3 foram colocados em uma planilha. O diâmetro (D), a relação passo diâmetro (P/D), a razão de áreas ( $A_e/A_o$ ) e número de pás (Z) são os dados de entrada para traçar o diagrama de águas abertas dos dez propulsores escolhidos.

Variando-se os valores de J entre 0,05 e 1,5, com intervalo de 0,05, foram calculados os valores de  $K_t$ ,  $K_q$  e  $\eta_o$  para cada valor de J considerado. Desta forma, o diagrama de águas abertas foi elaborado com suas três curvas características:  $K_t$ ,  $K_q$  e a curva de eficiência do propulsor, como mostra a figura 6.4.

As curvas do diagrama de águas abertas são adimensionais. Portanto, para garantir que o hélice é capaz de produzir o empuxo requerido, a partir de uma relação

estabelecida entre  $K_t$  e  $J$  (adimensionalizada) através das equações (6.7) e (6.8), obteve-se a seguinte equação:

$$K_t = \frac{T \cdot J^2}{\rho \cdot V_a^2 \cdot D^2} \quad (6.11)$$

A equação (6.11) representa o  $K_t$  requerido pela embarcação para o qual o hélice está sendo projetado. Como o termo  $\left(\frac{T}{\rho \cdot V_a^2 \cdot D^2}\right)$  pode ser considerado constante, a equação 6.11 é representada como uma equação de 2º grau:

$$K_t = d \cdot J^2$$

Da mesma forma, a equação que representa a curva de  $K_t$  do hélice ( $K_t$  disponível) do diagrama de águas livres pode ser aproximada a uma regressão quadrática, já que os expoentes de  $J$  apresentados na figura 6.3 e no anexo III variam de 0 a 2. Sendo os parâmetros ( $P/D$ ,  $A_e/A_o$  e  $Z$ ) dados de entrada, a curva  $K_t$  do hélice pode ser representada como uma equação de segundo grau em função do coeficiente  $J$ . Com isso, podemos igualar as duas fórmulas, resultando em apenas uma equação de segundo grau igual à zero. A solução positiva da equação de segundo grau formada pelas curvas  $K_t$  disponível e  $K_t$  requerido será o  $J$  de operação (MENDES, 2015).

Portanto, o coeficiente de avanço  $J$  ótimo é obtido através do cruzamento da curva de empuxo disponível do propulsor ( $K_t$  hélice) com a curva de empuxo requerido ( $K_t$  req) e assim, busca-se o ponto de eficiência máxima.

O fluxograma a seguir mostra, de forma esquemática, o procedimento adotado para encontrar o  $J$  de operação:

**1° Passo:** após inserir os parâmetros do hélice, temos a seguinte equivalência:  $Kt \text{ hélice} = \sum c J^s (P/D)^t (A_e/A_o)^u Z^v$ , torna-se  $Kt \text{ hélice} = a.j^2 + b.j + c$

**2° Passo:** após a inserção de dados, a equação do  $Kt$  requerido também é representada apenas como função de  $J$ :  $Kt \text{ req} = d.J^2$

**3° Passo:** igualar as funções obtidas e calcular o valor de  $J$ :  $a.j^2 + b.j + c = d.j^2$   
 $(a-d).j^2 + b.j + c = 0$

**4° Passo:** o  $J$  de operação será o  $J$  positivo que satisfaz a equação acima.

**Figura 6.5:** Fluxograma para obtenção do coeficiente  $J$  de operação.

Através do ponto de operação, calcula-se pela equação (6.9) a eficiência em água aberta correspondente ao propulsor selecionado.

Para cada um dos dez diagramas de propulsores escolhidos (para cada um dos seis diâmetros testados), haverá dez pontos em que a curva  $Kt$  hélice cruzará com a curva  $Kt$  requerido. Portanto serão encontrados dez valores para o  $J$  de operação (um para cada relação  $P/D$ ) e suas respectivas eficiências, onde será escolhido o ponto com maior eficiência propulsiva. O propulsor ótimo selecionado será o de maior eficiência entre os dez diagramas analisados em cada um dos seis valores de diâmetros avaliados, onde será escolhido o diâmetro correspondente ao hélice de maior eficiência. Portanto serão analisados dez pontos para cada um dos dez diagramas de propulsores escolhidos (pontos de cruzamento entre as curvas  $Kt$  hélice e  $Kt$  requerido) para cada um dos seis diâmetros avaliados (entre 0,6 m e 0,85 m), de modo que será avaliado um total de 600 pontos com o intuito de selecionar o propulsor mais adequado para a embarcação proposta.

É importante ressaltar, que ao calcular o  $Kt$  do hélice para valores de  $J$  variando entre zero e 1,5 são encontrados valores negativos, que fazem parte do cálculo do  $J$  de operação e influenciam erroneamente o resultado. Um valor negativo para o  $Kt$  do hélice significa uma força na mesma direção do movimento da embarcação e não contrária, ou seja, estaria indicando que existe uma força que “empurra” a embarcação, o que na verdade não acontece. A fim de solucionar este impasse, fez-se necessário

anular as eficiências nas quais os valores de  $K_t$  do hélice resultam em números negativos e a regressão quadrática feita para encontrar a equação do  $K_t$  do hélice se limitou até o valor de  $J$  anterior aquele que anula o  $K_t$  do hélice.

### 6.1.3 Cálculo da potência no propulsor e critério de cavitação

Com o propulsor selecionado e sua respectiva eficiência calculada, pode-se encontrar a potência a ser entregue ao propulsor, conhecida como *Delivered Power* ( $P_d$ ), expressa pela relação:

$$P_d = \frac{P_t}{\eta_p} \quad (6.12)$$

Onde:

$P_t$  = potência de empuxo;

$\eta_p$  = eficiência do propulsor.

O coeficiente de eficiência propulsiva (*Quasi-propulsive coefficient* ou QPC do termo em inglês) relaciona a potência efetiva ( $P_e$ ) com a potência entregue ao propulsor ( $P_d$ ):

$$\eta_D = \frac{P_e}{P_d} = \eta_{rr} \cdot \eta_h \cdot \eta_o \quad (6.13)$$

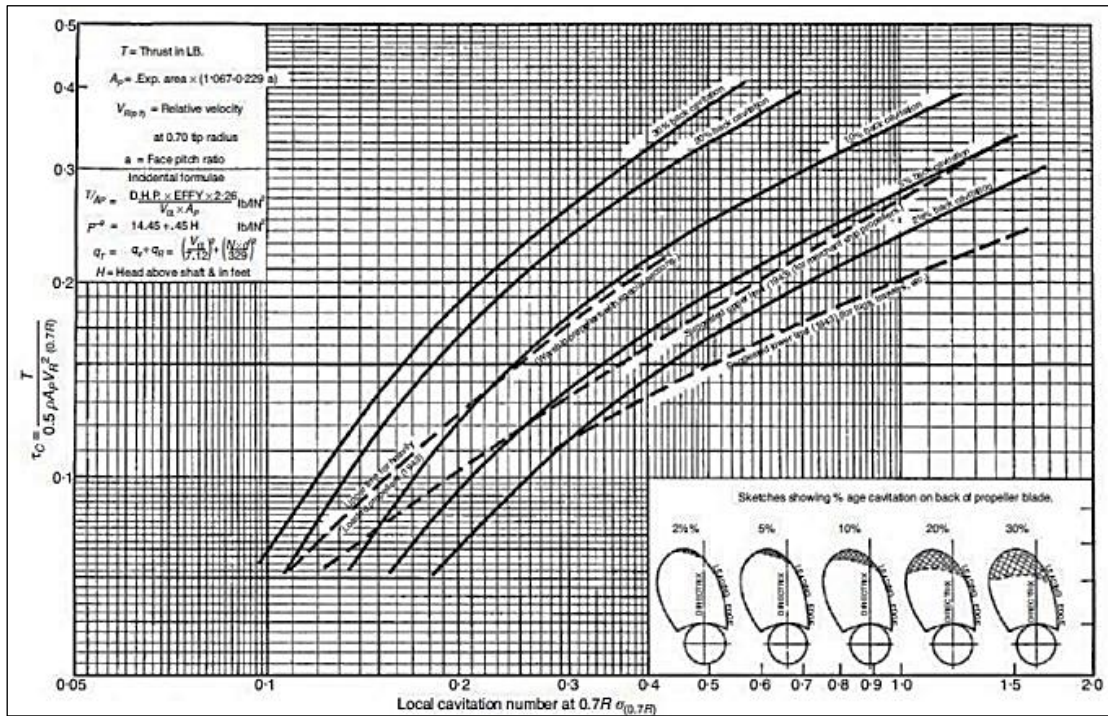
Todavia, o propulsor escolhido deve, além de atingir o empuxo requerido com a máxima eficiência possível, estar dentro dos limites aceitos de cavitação estabelecidos. O critério de cavitação adotado será explicado a seguir.

#### 6.1.3.1 Critério de cavitação

A cavitação pode ser explicada como um fenômeno que ocorre a partir do aparecimento de regiões das pás com pressões abaixo da pressão de vapor da água, causando a mudança do estado físico da água e formando bolhas de vapor. Quando essas bolhas caminham para uma região de pressão superior a pressão de vapor, elas são comprimidas e implodem causando erosão na superfície das pás, aumento de vibrações induzidas pelo propulsor, ruído, queda de empuxo e perda de força propulsiva. Por isso deve ser evitada pelos projetistas, pois pode danificar as pás acarretando em manutenção ou até mesmo a substituição do propulsor.

Uma das formas mais práticas de prever problemas relacionados com a cavitação é a utilização do diagrama de Burril (figura 6.6). Este diagrama foi gerado com base em

dezenas de ensaios em túneis de cavitação de hélices de geometrias variadas, em que relaciona o coeficiente de Burril ( $\tau_c$ ) e o número de cavitação ( $\sigma$ ).



**Figura 6.6:** Diagrama de Burril.

**Fonte:** (MENDES, 2015).

O coeficiente de Burril ( $\tau_c$ ) é um número adimensional contemplando a razão entre o empuxo e a força associada à pressão dinâmica. É calculado pela seguinte fórmula:

$$\tau_c = \frac{T}{0,5 \cdot \rho \cdot V_r^2 \cdot A_p} \quad (6.14)$$

A velocidade  $V_r$  representa a velocidade resultante da velocidade do fluido com a velocidade radial causada pela rotação do propulsor em uma seção situada a 0,7 do seu raio:

$$V_r = \sqrt{V_a^2 + (0,7 \cdot \pi \cdot n \cdot d)^2} \quad (6.15)$$

Onde:

$n$  = velocidade de rotação do propulsor;

$D$  = diâmetro do propulsor;

$0,7 \cdot \pi \cdot n \cdot D$  = Velocidade radial a 0,7 de  $r$ .

Já a área projetada ( $A_p$ ) representa a área da projeção das pás em um plano normal ao eixo do hélice e pode ser calculada pela fórmula:

$$A_p = \frac{A_e}{A_o} \cdot A_o (1,067 - 0,229 \cdot P/D) \quad (6.16)$$

$A_e$  = área expandida ou desenvolvida, que representa a soma das áreas das faces das pás do propulsor;

$A_o$  = área do quadrante =  $\pi \cdot D^2/4$

O número de cavitação ( $\sigma$ ) é calculado por:

$$\sigma(0,7R) = \frac{P_a + \rho \cdot g \cdot h - P_v}{0,5 \cdot \rho \cdot (V_a^2 + (0,7 \cdot \pi \cdot n \cdot D)^2)} \quad (6.17)$$

Onde:

$P_a$  = pressão atmosférica (101.350 N/m<sup>2</sup>);

$P \cdot g \cdot h$  = Pressão hidrostática;

$P$  = densidade do fluido (1.025 kg/m<sup>3</sup>);

$P_v$  = pressão de saturação da água salgada (3.000 N/m<sup>2</sup>).

O termo  $h$  significa a imersão do eixo propulsor ou a profundidade do hélice e será calculado pela equação (6.18) (MENDES, 2015).

$$h = 0,2 \cdot D + \frac{D}{2} \quad (6.18)$$

Vale ressaltar que o diagrama de Burril apresenta curvas derivadas de ensaios em escala real, que indicam a porcentagem da área das pás cobertas por cavitação no dorso dos hélices. Porém, como explica (PADOVEZI, 1997), o diagrama de Burril apenas possibilita estimar a quantidade de cavitação nas pás do hélice. Não é possível indicar o tipo de cavitação presente nem se há possibilidade de ocorrer erosão por cavitação nas pás, entretanto, a prática tem demonstrado que seus resultados são confiáveis.

Para conferir se o hélice selecionado está dentro dos limites aceitos de cavitação estabelecidos pelo diagrama de Burril, é preciso verificar a localização do ponto de operação. Caso esteja abaixo da curva relativa a uma porcentagem de cavitação, o ponto de operação atende ao critério de cavitação. Caso contrário, o critério de cavitação não é obedecido.

O critério de cavitação utilizado será calculado através de 28 pontos extraídos das curvas de 20%, 10%, 5% e 2,5% de cavitação do diagrama de Burril (MENDES, 2015), que estão disponíveis no anexo V. Será considerado um limite aceitável de cavitação de até 5%.

Esses pontos foram plotados em um gráfico, em escala logarítmica, onde as equações das curvas de cavitação podem ser obtidas (figura 6.7). As equações estimadas que melhor representam as curvas de cavitação são do tipo logarítmica:

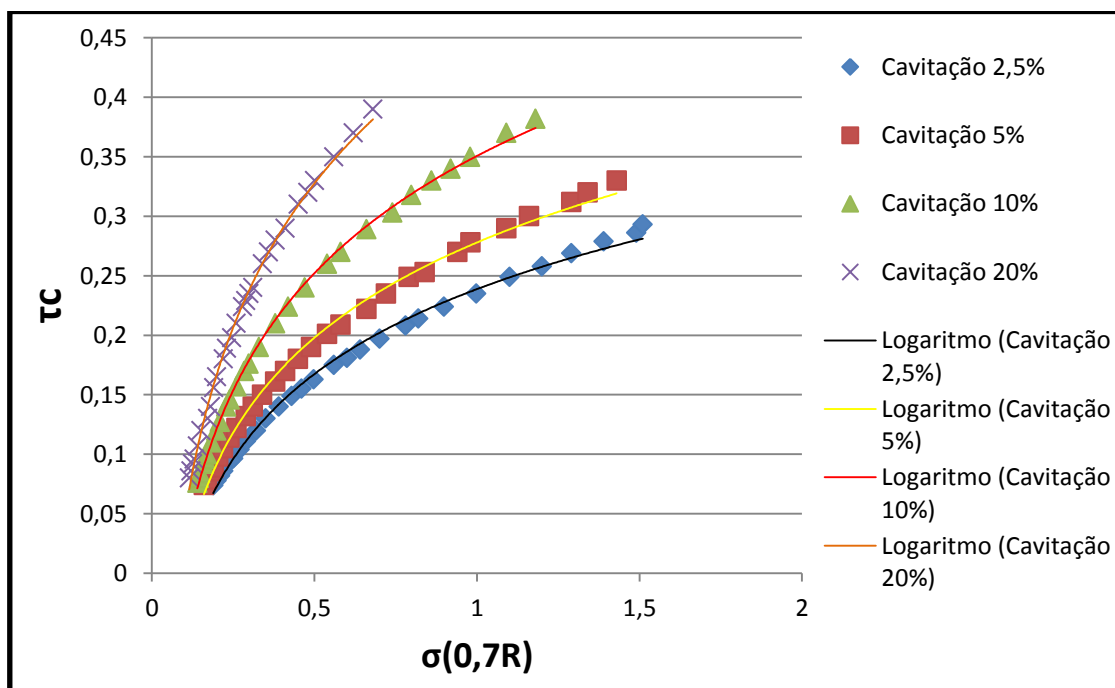
$$Y_{2,5\%} = 0,103.\ln(x)+0,2388$$

$$Y_{5\%} = 0,1154.\ln(x)+0,278$$

$$Y_{10\%} = 0,1422.\ln(x)+0,3507$$

$$Y_{20\%} = 0,17838.\ln(x)+0,4481$$

Assim, calculam-se os valores de  $\tau_c$  e  $\sigma$ , definindo este ponto como o ponto de operação do propulsor selecionado. Ao plotar o ponto de operação no gráfico, é possível utilizar as equações estimadas para verificar se os propulsores possuem porcentagens de cavitação aceitáveis, ou seja, se atendem ou não o critério de cavitação imposto.



**Figura 6.7:** Equações dos pontos retirados do diagrama de Burril.

**Fonte:** Elaboração própria baseada em (MENDES, 2015).

#### 6.1.4 Cálculo da potência total instalada e aplicação das margens de serviço

Após o cálculo da  $P_d$ , a potência total instalada é calculada considerando-se a eficiência de transmissão do eixo propulsor (perdas mecânicas no eixo e perdas relativas à caixa redutora de velocidade) e as margens de potência aplicadas devido às condições de mar, envelhecimento e incrustações no hélice e casco da embarcação.

Esta potência total instalada é definida como a potência necessária no motor ( $P_m$ ), ou BHP - *Brake Horse Power*, de acordo com a seguinte expressão:

$$P_m = \frac{P_d}{\eta_t} = \frac{P_e}{\eta_d} \cdot \frac{1}{\eta_t} + Margens \quad (6.19)$$

Onde:

$P_m$  = potência fornecida pelo motor;

$P_e$  = potência efetiva;

$\eta_t$  = eficiência de transmissão;

$\eta_d$  = eficiência propulsiva.

As margens são fatores de segurança para correção da potência requerida devido ao envelhecimento do casco e do hélice, assim como das diferentes condições de mar que a embarcação irá operar. Estas margens visam garantir a correta operação quando a resistência ao avanço for maior que a de projeto, permitindo que a embarcação possa, durante toda sua vida útil, navegar na velocidade de projeto.

As seguintes margens foram utilizadas neste estudo:

- Margens de mar: A embarcação nem sempre vai operar em condições de mar calmo e o seu casco vai apresentar um maior nível de rugosidade com o passar do tempo. Esta margem é aplicada para compensar o estado de mar e o envelhecimento do casco, uma vez que os cálculos de potência foram feitos considerando águas tranquilas.

Para situações de mar agitado e casco mais rugoso ou encrustado são acrescentados de 15% até 30% de margem na potência instalada (MAN, 2012b). A margem de mar adotada neste estudo foi de 30%.

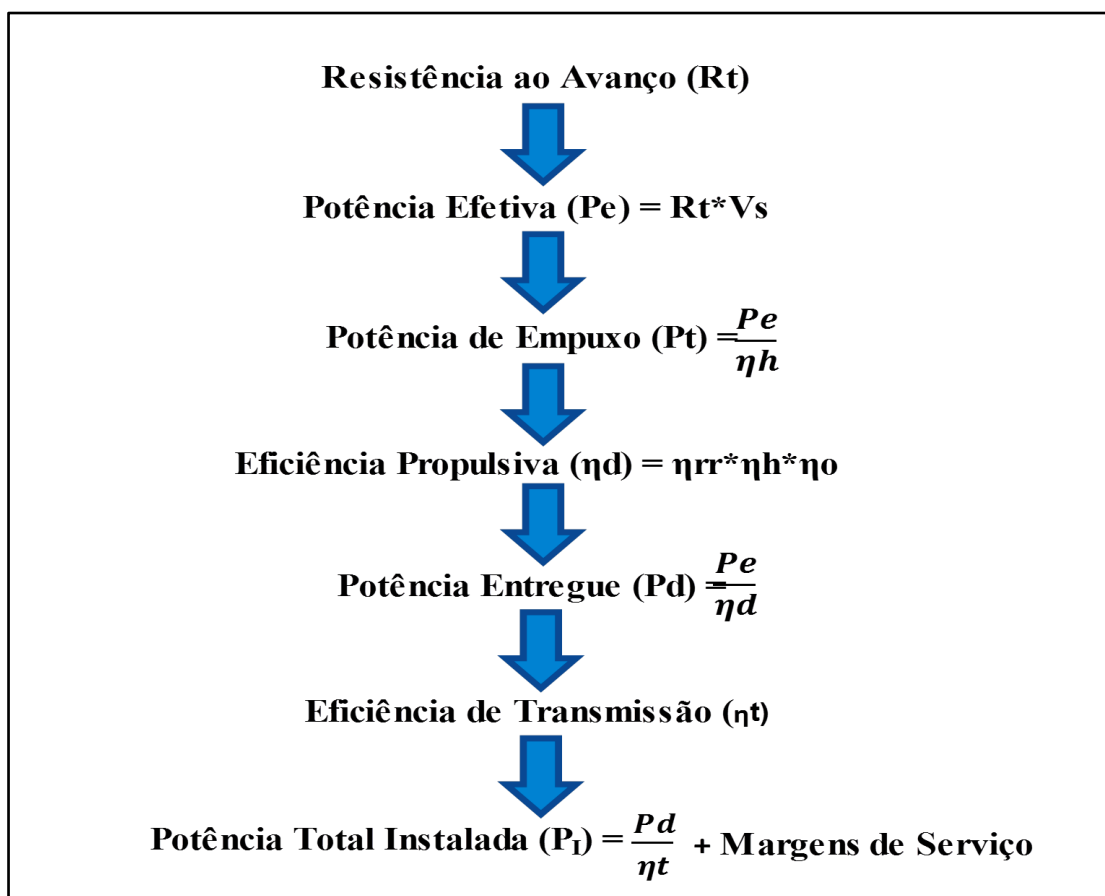
- Margem de operação: Também chamada de “margem do motor”, é aplicada pelo fato de que o motor deve operar em uma condição mais leve que sua operação máxima. Valores típicos para este tipo de margem variam entre 10% a 15%



(MAN, 2012b), ou seja, a embarcação vai operar com capacidade entre 90% a 85% de sua capacidade máxima em condições de projeto. Neste estudo será adotada uma margem de 10%.

- Margem de rotação: Aplicada para compensar o envelhecimento do hélice e seu maior carregamento devido às incrustações acumuladas no propulsor. Seus valores variam de 3% a 7%. Essa margem é aplicada na rotação e não na potência. O valor adotado foi de 5%.

Desta forma, após definir as margens de serviço e verificar o critério de cavitação do projeto do sistema propulsor, a potência instalada total pode ser estimada. A figura 6.8 ilustra os processos de estimativa necessários em um projeto de instalação propulsora de uma embarcação (MOLLAND; TURNOCK; HUDSON, 2011). Esta sequência começa com o cálculo da resistência ao avanço e termina com a estimativa de potência total instalada.



**Figura 6.8:** Etapas necessárias para estimar a potência instalada.

**Fonte:** Elaboração própria com base em (MOLLAND; TURNOCK; HUDSON, 2011).

### **6.1.5 Balanço Elétrico**

Após a estimativa do consumo de energia necessário para a propulsão, é necessário fazer o Balanço Elétrico da embarcação para saber a sua demanda elétrica.

O balanço elétrico trata-se de uma estimativa de todos os consumidores elétricos a bordo e sua demanda para que os MCA's, que são os equipamentos responsáveis por suprir essa demanda, possam ser dimensionados.

O cálculo do balanço elétrico foi baseado na norma NBR 7567 NOV/1982 – Execução de Balanço Elétrico (ABNT, 1982). Esta norma determina os equipamentos que devem ser considerados e apresenta a tabela do Balanço Elétrico que deve ser preenchida.

Primeiramente, o sistema elétrico da embarcação será dividido em onze grupos de cargas elétricas divididas de acordo com o seu tipo de funcionalidade e seu grau de importância dentro da embarcação.

O balanço elétrico foi feito por grupo separadamente subdividindo em quatro situações normais em que a embarcação poderá estar operando: no mar navegando apenas com os sistemas essenciais em funcionamento, navegando com condições normais da geração principal, momento da pesca (lançamento e recolhimento do espinhel) e momento da pesca (espera).

Em cada situação será listado todos os equipamentos que deverão estar funcionando com seus devidos fatores de carga (relação entre potência absorvida e potência nominal) e simultaneidade (indica a percentagem dos consumidores que são acionados em um mesmo instante) do grupo. Ao final deste processo, o dimensionamento da geração de energia elétrica será feito considerando o pior caso, ou seja, a situação que irá demandar a maior quantidade de energia elétrica.

## **6.2 Resultados**

Após detalhar todo o processo metodológico adotado para estimar a potência necessária na máquina motriz principal de um sistema propulsor, esta seção irá apresentar os resultados obtidos para o caso de uma embarcação típica da frota pesqueira de espinhel de fundo.

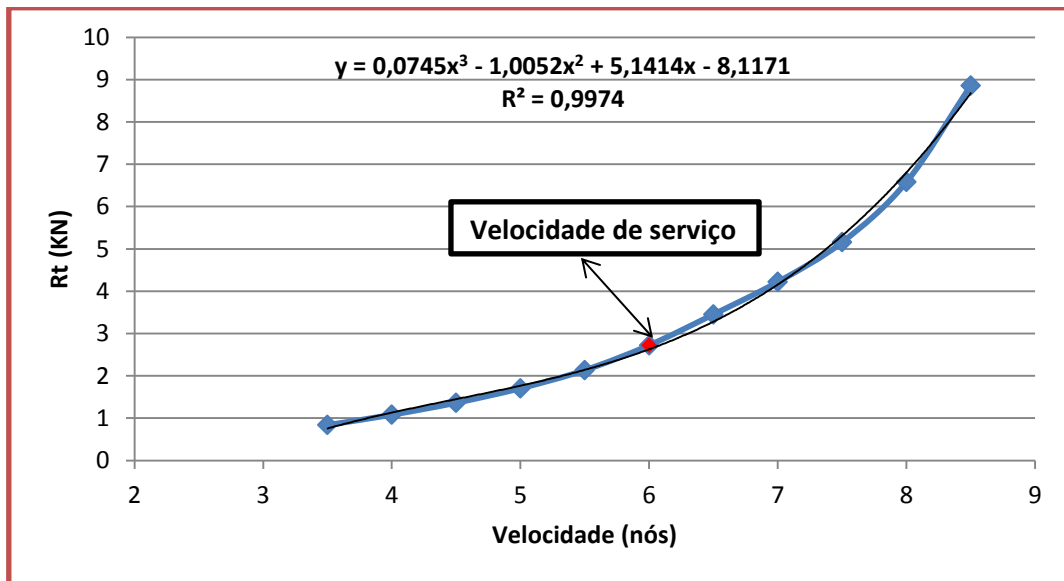
### 6.2.1 Potência efetiva e potência de empuxo

Para uma velocidade de serviço de seis nós, a resistência ao avanço da embarcação foi calculada através da planilha de cálculo do método de Holtrop (tabela 6.3). Com o seu valor foi possível obter a Potência efetiva:

$$R_t = 2,72 \text{ KN}$$

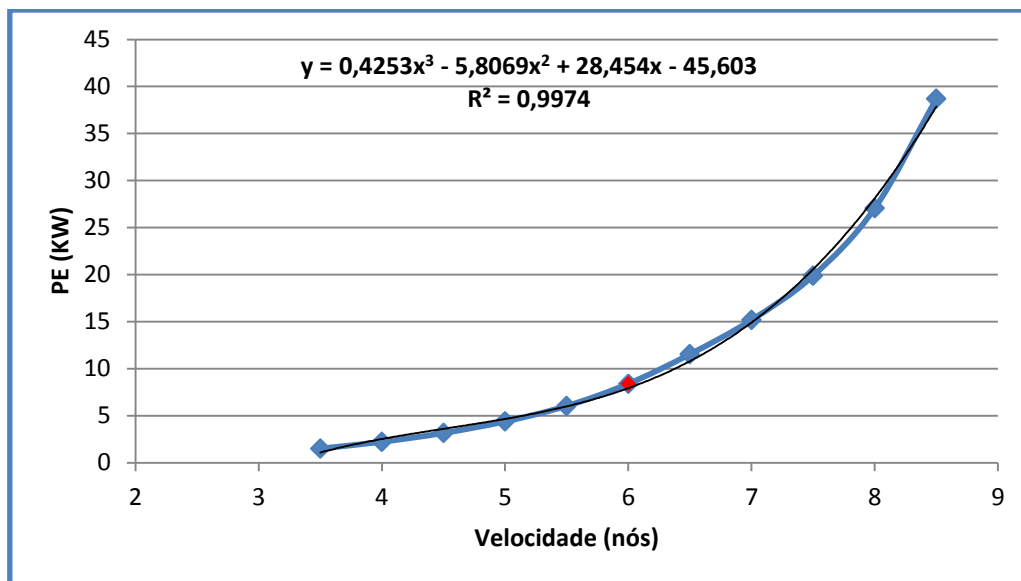
$$P_e = 2,72 \text{ KN} \cdot 6 \text{ nós} = 8,4 \text{ KW}$$

As figuras 6.9 e 6.10 a seguir ilustram o comportamento da resistência ao avanço e da potência efetiva da embarcação em função da velocidade.



**Figura 6.9:** Resistência total x velocidade.

**Fonte:** Elaboração própria.



**Figura 6.10:** Potência Efetiva x velocidade.

**Fonte:** Elaboração própria.

Além da  $R_t$ , a planilha fornece os valores de  $w$  e  $t$ , a partir dos quais é possível calcular a velocidade de avanço, o empuxo requerido e a potência de empuxo, através das equações (6.2), (6.3) e (6.4) respectivamente.

A tabela 6.4 apresenta os resultados obtidos para os diferentes valores de diâmetros de hélice testados, na velocidade de serviço da embarcação.

**Tabela 6.4** - Resultados de  $w$ ,  $t$ ,  $V_a$  e  $P_t$  para diferentes diâmetros do hélice.

<b>Diâmetro Propulsor (m)</b>	<b><math>w</math></b>	<b><math>t</math></b>	<b><math>T</math> (N)</b>	<b><math>V_a</math> (m/s)</b>	<b><math>P_t</math> (KW)</b>
0,6	0,1098	0,2388	3.576	2,745	9,82
0,65	0,1081	0,2338	3.553	2,751	9,77
0,7	0,1065	0,2293	3.532	2,755	9,73
0,75	0,1052	0,2252	3.513	2,759	9,70
0,8	0,1041	0,2214	3.496	2,763	9,66
0,85	0,1031	0,2179	3.480	2,766	9,63

**Fonte:** Elaboração própria.

## 6.2.2 Seleção do propulsor ótimo

A tabela 6.5 apresenta os resultados das eficiências máximas e os principais parâmetros dos hélices ótimos selecionados, de acordo com os procedimentos adotados neste estudo, explicados e ilustrados na subseção 6.1.2.2 e figura 6.5. Estes resultados foram obtidos considerando a condição nominal do hélice, ou seja, a condição de rotação ótima encontrada para velocidade de serviço da embarcação.

Com os valores de  $\eta_o$  estimados para cada propulsor ótimo e os valores de  $\eta_h$  e  $\eta_{rr}$  obtidos da planilha de Holtrop, pode-se calcular a eficiência propulsiva, dada pela equação 6.13.

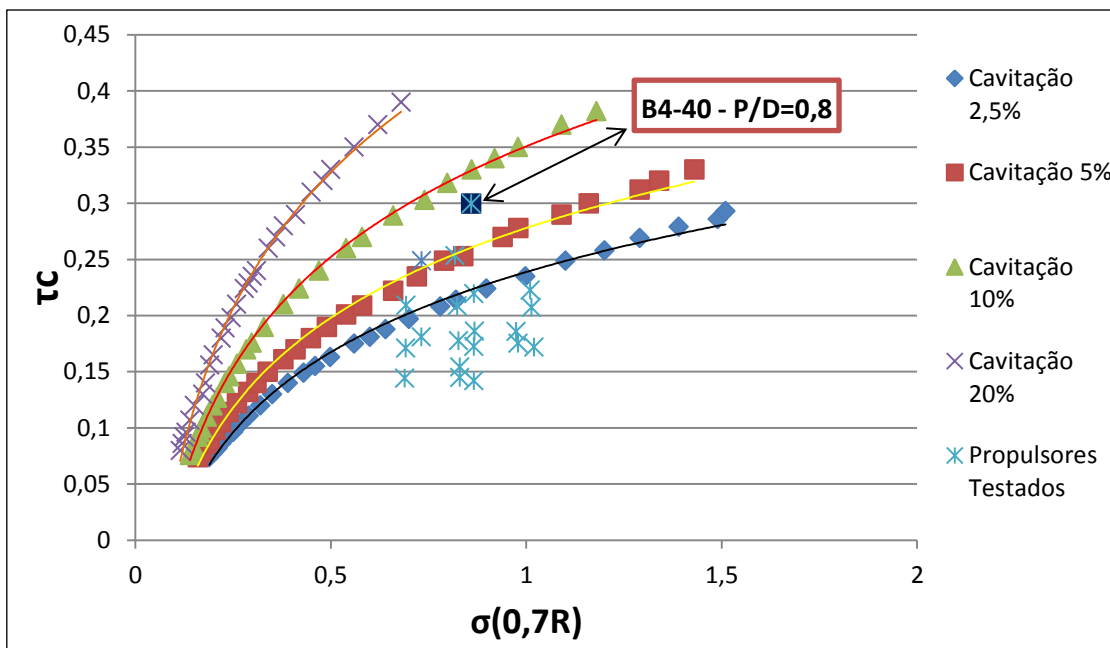
**Tabela 6.5 - Resultados ótimos para os propulsores selecionados.**

Parâmetros	Diâmetros (m)					
	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
Z (n° pás)	4	4	4	4	3	3
BAR	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,45
P/D	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
Kt	0,2079	0,1989	0,1901	0,2111	0,1644	0,1567
Kq	0,0277	0,0268	0,0260	0,0315	0,0223	0,0214
J <sub>operação</sub>	0,402	0,428	0,453	0,514	0,485	0,505
RPM	683	593	521	430	427	387
$\eta_o$	48%	50%	53%	55%	57%	59%
$\eta_d$	41%	43%	46%	48%	50%	51%

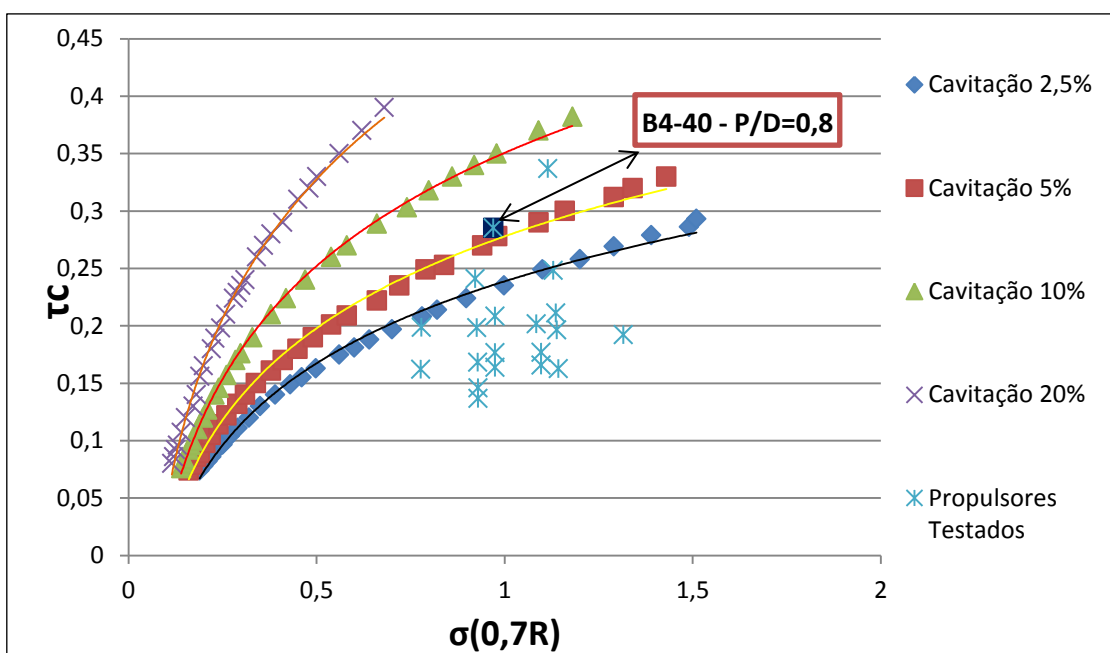
**Fonte:** Elaboração própria.

A eficiência propulsiva ( $\eta_d$ ) se comportou de maneira esperada, pois a eficiência é função do diâmetro do hélice. Com o aumento de D, observa-se um aumento em  $\eta_d$  de 41,0% até 51%. Todavia, deve-se verificar se os propulsores selecionados obedecem ao critério de cavitação estabelecido neste estudo.

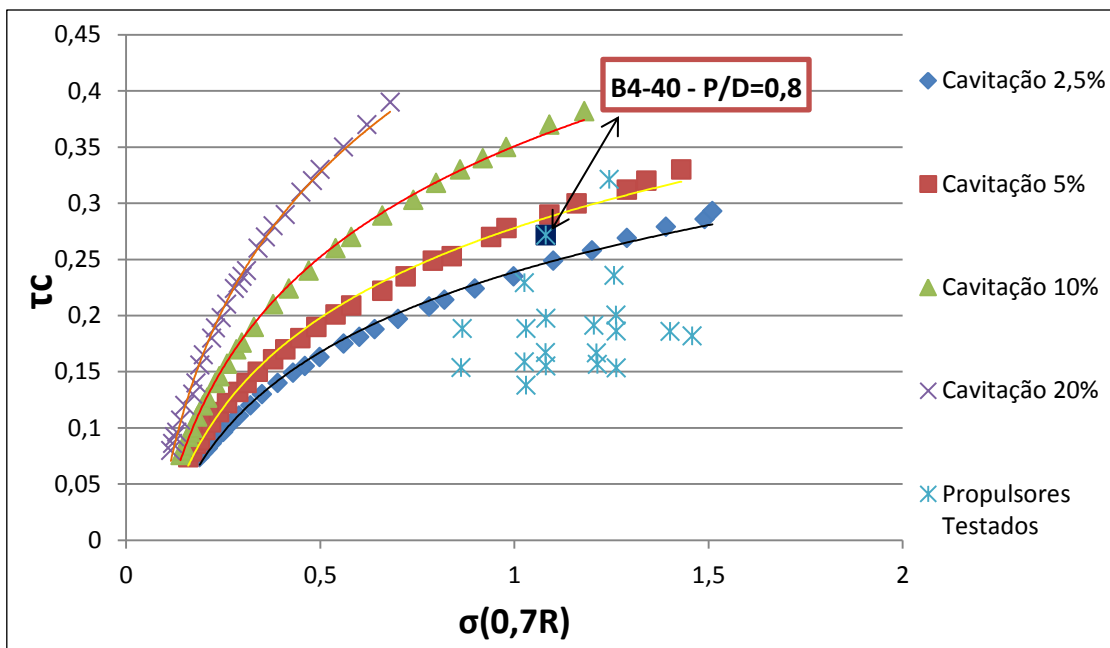
As figuras 6.11 até 6.16 ilustram os resultados ótimos para o critério de cavitação de cada um dos dez propulsores testados, para cada diâmetro.



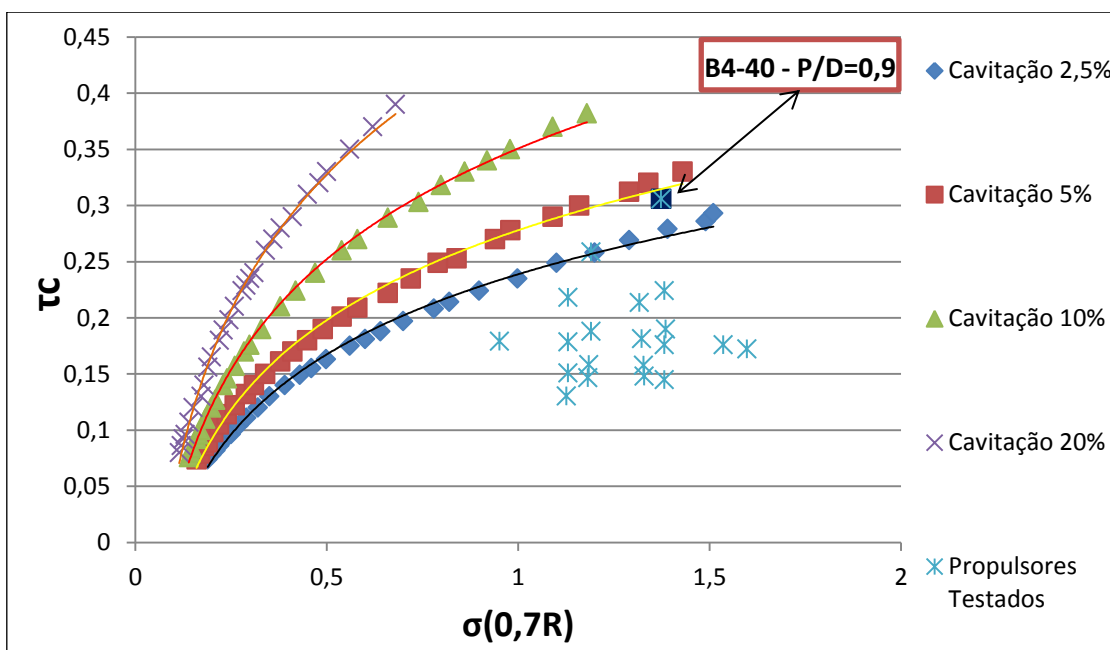
**Figura 6.11:** Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,6 metros.  
**Fonte:** Elaboração própria.



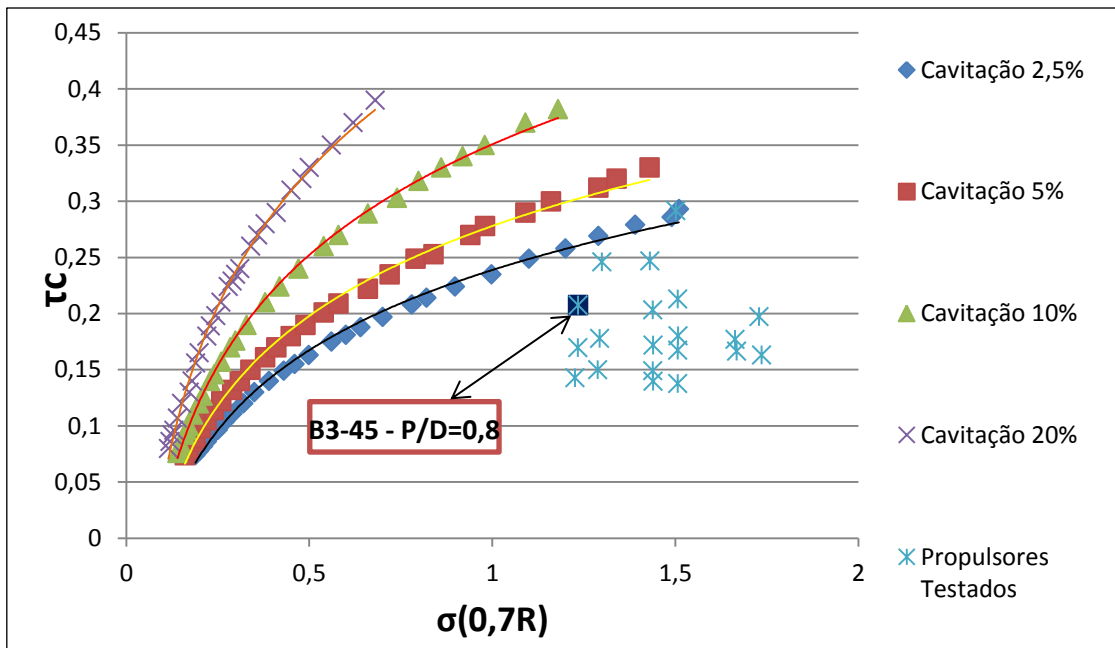
**Figura 6.12:** Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,65 metros.  
**Fonte:** Elaboração própria.



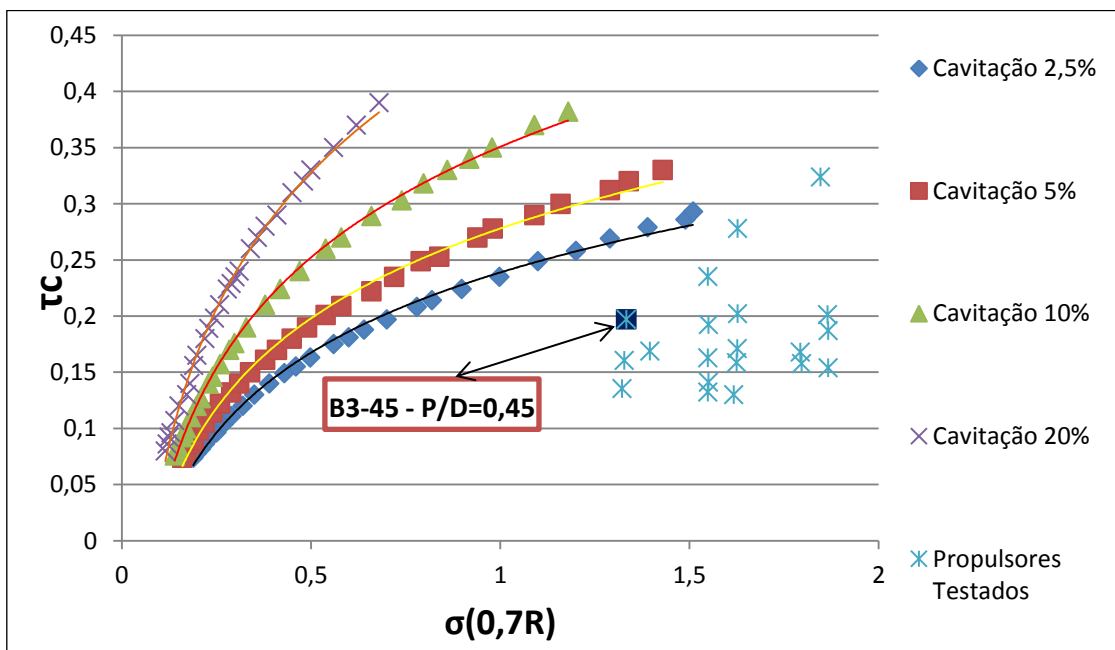
**Figura 6.13:** Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,7 metros.  
**Fonte:** Elaboração própria.



**Figura 6.14:** Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,75 metros.  
**Fonte:** Elaboração própria.



**Figura 6.15:** Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,8 metros.  
**Fonte:** Elaboração própria.



**Figura 6.16:** Resultados do critério de cavitação para o diâmetro de 0,85 metros.  
**Fonte:** Elaboração própria.

Considerando aceitável um limite de cavitação de 5% nas pás, somente os resultados ótimos dos propulsores com diâmetro de 0,6 m e 0,65 m foram reprovados no critério de cavitação (figuras 6.11 e 6.12). Desta maneira o diâmetro selecionado para o

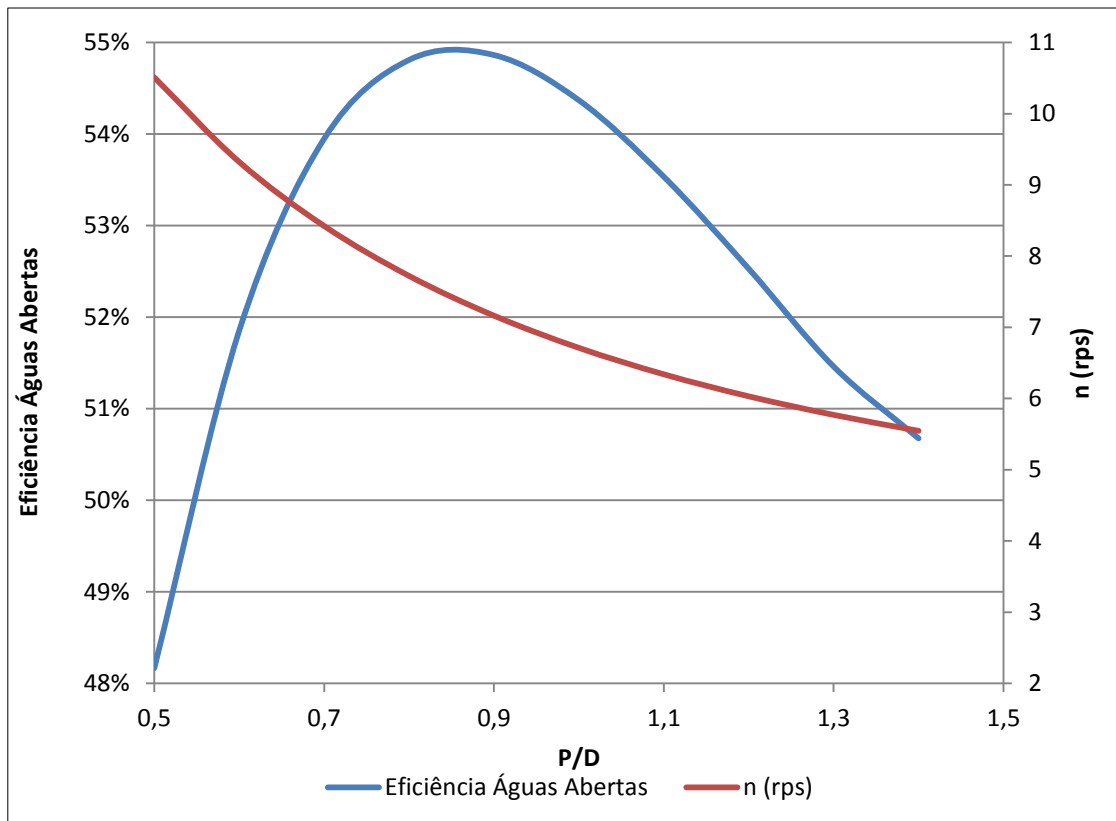


hélice foi de 0,75 metros. Este valor de diâmetro oferece uma boa eficiência (55%) e sua dimensão é adequada, representando 50% do comprimento do calado, além de possuir um limite aceitável de cavitação.

Com isso, o propulsor selecionado foi o B4-40, com quatro pás, razão de área de 0,40 e relação P/D de 0,9, pois foi o que apresentou a maior eficiência entre as relações P/D avaliadas para o propulsor com diâmetro igual a 0,75 metros, como mostra a tabela 6.6 e a figura 6.17.

**Tabela 6.6** - Resultados de eficiência, velocidade, torque e potência para o propulsor selecionado.

P/D	$\eta_o$	n (rps)	Qo (kN-m)	P <sub>D</sub> (kW)
0,5	48,17%	10,51	0,302	19,9
0,6	51,85%	9,32	0,318	18,6
0,7	53,95%	8,42	0,339	17,9
0,8	54,81%	7,72	0,364	17,7
0,9	54,86%	7,16	0,393	17,7
1,0	54,37%	6,71	0,423	17,8
1,1	53,53%	6,34	0,455	18,1
1,2	52,53%	6,03	0,487	18,5
1,3	51,46%	5,77	0,519	18,8
1,4	50,68%	5,55	0,548	19,1



**Figura 6.17:** Variação da eficiência em águas abertas e rotação com a relação P/D do propulsor selecionado.

A potência fornecida ao propulsor pelo eixo de transmissão pode ser calculada pela equação 6.12:

$$P_d = \frac{P_t}{\eta_p} = \frac{P_t}{\eta_{rr} \cdot \eta_o} = \frac{9,7}{1,001 \cdot 0,5486} = 17,7 \text{ kW}$$

Onde a eficiência rotativa relativa ( $\eta_{rr} = 1,00072$ ) foi obtida da planilha de Holtrop e a eficiência do propulsor em águas abertas foi retirada da tabela 6.6.

O valor do torque requerido pelo hélice quando está operando atrás do casco é obtido através da equação 6.10. Este valor será praticamente o mesmo do torque em águas abertas, visto que a  $\eta_{rr}$  assumiu um valor aproximadamente igual a 1:

$$Q_{\text{hélice}} = Q_o \cdot \eta_{rr} = 0,393 \cdot 1,00072 = 0,393 \text{ kN-m.}$$

Com isto, a  $P_d$  também pode ser obtida pela relação a seguir:

$$P_d = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot Q = 17,7 \text{ kW}$$

A rotação de operação do hélice selecionado foi de 430 rpm, calculado a partir do coeficiente J de operação (equação 6.8).

### 6.2.3 Estimativa da demanda elétrica

A tabela 6.7 apresenta um resumo do consumo de energia elétrica de cada grupo, para cada condição de operação da embarcação:

**Tabela 6.7-** Balanço Elétrico dos grupos consumidores para cada condição de operação.

Classificação dos Grupos		NO MAR		Pesca - Lançamento e Recolhimento (kW)	Pesca - Espera (kW)
		ESSENCIAL (kW)	NORMAL (kW)		
1-	Praça de Máquinas (serviço contínuo)	0,03	0,13	0,13	0,13
2-	Praça de Máquinas (serviço intermitente)	0,0	0,43	0,0	0,0
3-	Praça de Máquinas (diversos)	0,0	0,05	0,06	0,06
4-	Ar condicionado / Ventilação / Aquecimento	0,01	1,56	0,01	0,01
5-	Frigoríficas de Provisões (equipamentos)	0,20	0,20	0,20	0,20
6-	Máquinas de Convés	0,0	0,0	0,65	0,0
7-	Cozinha / Copa	0,31	0,69	0,31	0,31
8-	Lavanderia	0,0	0,25	0,0	0,0
9-	Oficinas	0,0	0,1	0,0	0,0
10-	Iluminação	0,85	2,25	2,03	2,03
11-	Equipamentos Náuticos e de Auxílio à Navegação	3,28	4,76	4,00	2,29
<b>Total dos Grupos</b>		<b>4.7</b>	<b>10,4</b>	<b>7,7</b>	<b>5</b>

### 6.2.4 Estimativa da potência total instalada utilizando o sistema diesel convencional

Após selecionar o propulsor ideal, o dimensionamento do motor diesel é efetuado com a estimativa da potência instalada, calculada através da equação (6.19). A eficiência de transmissão considerada será de  $\eta_t = 0,99 \cdot 0,95 = 0,94$ , onde o valor 0,99 é referente à eficiência do eixo de transmissão, enquanto que o valor 0,95 refere-se à eficiência da caixa de redução (EL-GOHARY; EL-SHERIF, 2004; LOGASON, 2015; NOTTI et al., 2012).

Assim, a potência requerida no motor para propulsão, antes da aplicação das margens de serviço será:

$$P_m = \frac{P_d}{\eta_t} = 19 \text{ kW}$$

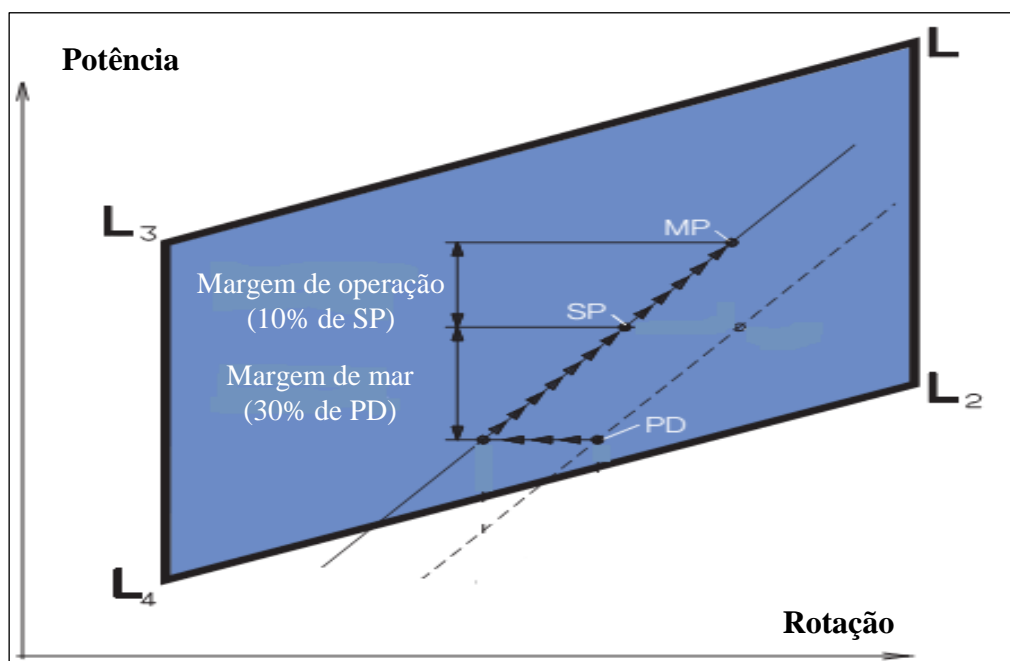
Com o Balanço Elétrico da embarcação apresentado na tabela 6.7 é possível saber a demanda elétrica, e com isso calcular a potência requerida total na velocidade de serviço responsável por suprir essa demanda.

Potência Requerida em Velocidade de Serviço: 19 kW

Demanda Elétrica Requerida (Balanço Elétrico): 10,4 kW

Potência Total = 19 kW + 10,4 kW = 29,4 kW

A figura 6.18 a seguir apresenta como foram realizados os cálculos para a aplicação das margens e obtenção da potência necessária no motor diesel.



**Figura 6.18:** Pontos de operação do sistema de propulsão e aplicação de margens.  
**Fonte:** (MAN, 2012b).

O ponto inicial, denominado “PD” (*Propeller Design Point*), é o ponto sem nenhuma aplicação de margem. A primeira margem a ser aplicada é a de rotação. Em seguida, aplica-se a margem de mar devido ao estado de mar e o envelhecimento do casco. Encontra-se, então, o ponto “SP” (*Service Propulsion Point*). Por fim, aplica-se a margem de operação chegando ao ponto “MP” (*Specified Propulsion Point ou Máximo Continuos Rating*).

A tabela 6.8 mostra os resultados das margens de rotação, mar, e operação, aplicadas na potência do motor e na rotação do propulsor:

**Tabela 6.8** - Resultados da aplicação das margens de serviço na potência e rpm para o sistema diesel.

Sem Margens: Pm = 29 kW RPM = 430	Margem de rotação: 5%	Margem de mar: 30%	Margem de operação: 10%
Pm (kW)	29	38	42
RPM Hélice	408	445	461

**Fonte:** Elaboração própria.

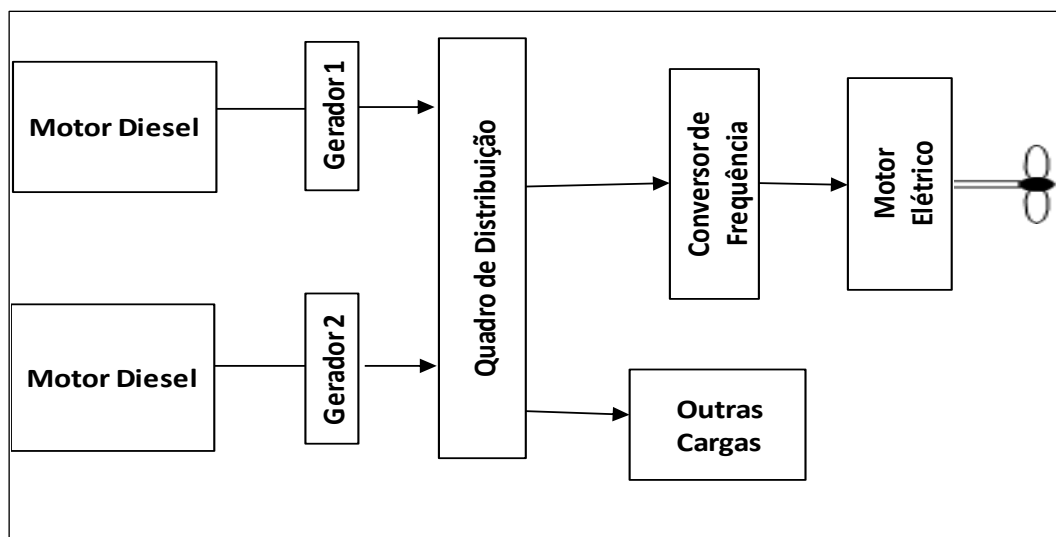
Uma vez atribuídas as margens de segurança, a potência necessária do motor para a velocidade de serviço de 6 nós será de 42 kW ou 57 bhp.

Comparando este resultado com as potências dos motores das embarcações da frota de espinhel apresentadas na tabela 5.1, pode-se observar que a menor potência foi de 95 bhp, com uma média de 198 bhp. Isto indica que os pescadores estão utilizando motores com elevadas potências para o tipo de embarcação requerida, ocasionando um alto consumo de combustível.

#### **6.2.5 Estimativa da potência total instalada utilizando o sistema diesel elétrico**

Diferentemente do sistema diesel, o sistema diesel elétrico não possui motores diesel com linhas de eixo e geradores acoplados. Seu sistema é composto por MCAs, que através de cabos elétricos de transmissão acionam motores elétricos que irão movimentar os propulsores.

Na figura 6.19 pode-se visualizar a configuração proposta para o sistema diesel elétrico:



**Figura 6.19:** Principais componentes do sistema diesel elétrico.

O projeto proposto inclui somente os componentes principais e deve servir apenas como uma base inicial para o desenvolvimento deste tipo de sistema.

Foram escolhidos dois MCAs com o objetivo de fornecer maior flexibilidade na geração de energia, em que o número de motores em funcionamento será decidido de acordo com a demanda de energia em cada etapa. Além disso, o conversor de frequência é incluído para controlar e ajustar a velocidade de rotação do motor elétrico.

Será considerada a mesma embarcação, com as mesmas dimensões principais e o mesmo perfil operacional estudado para o sistema diesel. O hélice também será o mesmo, com as mesmas características geométricas e parâmetros de operação:  $D = 0,75$  m;  $P/D = 0,9$  e  $\eta_o = 55\%$ , diferenciando apenas nos equipamentos de seu sistema propulsivo. Assim, a potência requerida na condição de velocidade de serviço deverá ser corrigida, devido às perdas adicionais dos equipamentos elétricos no sistema de transmissão.

A potência efetiva, a potência de empuxo fornecida pelo hélice e a potência entregue ao propulsor pelo eixo continuarão as mesmas calculadas para o sistema diesel convencional:

$$P_e = 8,4 \text{ kW};$$

$$P_t = 9,7 \text{ kW};$$

$$P_d = 17,7 \text{ kW}.$$

A potência necessária nos grupos geradores e demais equipamentos elétricos serão calculadas considerando os valores típicos da eficiência de cada componente do sistema, descritos na subseção 3.3.4.4:

- Gerador: 95 – 97%;
- Painel de distribuição: 99,99%;
- Conversor: 98 – 99%;
- Motor elétrico: 95 – 97%
- Eixo propulsor: 94%

A tabela 6.9 apresenta os resultados obtidos das potências requeridas em cada equipamento do sistema, considerando suas eficiências mínimas, ou seja, uma eficiência total de 82%.

**Tabela 6.9 - Potências requeridas nos equipamentos do sistema diesel elétrico.**

Eficiências Mínimas		Potência (kW)	
$\eta_{\text{eixo}}$	0,94	$P_{\text{Eixo}}$	18,8
$\eta_{\text{motor elétrico}}$	0,95	$P_{\text{Me}}$	19,8
$\eta_{\text{conversor}}$	0,98	$P_{\text{Conv}}$	20,2
$\eta_{\text{painel distribuição}}$	0,99	$P_{\text{Pd}}$	20,2
$\eta_{\text{gerador}}$	0,95	$P_{\text{Ge}}$	21,3

**Fonte:** Elaboração própria.

Onde:

$P_{\text{eixo}}$ : Potência entregue ao eixo pelo motor elétrico;

$P_{\text{Me}}$ : Potência fornecida ao motor elétrico;

$P_{\text{conv}}$ : Potência no conversor de frequência;

$P_{\text{Pd}}$ : Potência entregue ao painel de distribuição;

$P_{\text{Ge}}$ : Potência requerida pelos grupos geradores.

A potência requerida nos geradores  $P_{Ge}$  deve ser somada com a demanda elétrica máxima requerida (estimada através do balanço elétrico) para encontrarmos a potência total demandada pelo sistema diesel elétrico:

Potência requerida pelos grupos geradores: 21,3 kW

Demanda Elétrica Requerida (Balanço Elétrico): 10,4 kW

Potência total = 21,3 kW + 10,4 kW = 31,7 kW

Por fim, serão aplicadas as margens de serviço para que se possa estimar a potência necessária nos grupos geradores em condições reais de operação. As margens adotadas serão as mesmas adotadas no caso anterior.

**Tabela 6.10** - Resultados da aplicação das margens de serviço na potência e rpm para o sistema diesel elétrico.

<b>Sem Margens:</b> <b><math>P_{Ge} = 31,7</math> kW</b> <b>RPM = 430</b>	<b>Margem de rotação: 5%</b>	<b>Margem de mar: 30%</b>	<b>Margem de operação:</b> <b>10%</b>
<b><math>P_{Ge}</math> (kW)</b>	31,7	41	45,7
<b>RPM Hélice</b>	408	445	461

**Fonte:** Elaboração própria.

Como a configuração proposta para este sistema possui dois grupos geradores, a potência requerida em cada um será de:

$$P_{Ge} = \frac{45,7}{2} = 22,9 \text{ kW ou } 30,7 \text{ bhp.}$$



## 7. Estimativa e comparação do consumo de combustível e emissões de GEE dos diferentes sistemas de propulsão para uma embarcação típica da pesca de espinhel

No capítulo 6 foi descrita a metodologia usada no cálculo da potência instalada na máquina motriz principal do sistema de propulsão de uma embarcação de espinhel, com modo de operação e dimensões semelhantes às embarcações da amostra pesquisada.

Os cálculos foram realizados para dois tipos de sistemas propulsivos. Um sistema diesel “convencional”, operando apenas com um motor diesel e um sistema diesel elétrico, que opera com dois geradores e um motor elétrico ligado ao hélice.

Neste capítulo serão demonstrados os cálculos e a comparação da estimativa de consumo de combustível e emissões de GEE de uma viagem típica de pesca da embarcação especificada, para os dois sistemas de propulsão.

A viagem típica de pesca foi caracterizada pela média dos tempos de cada etapa da viagem. Nas etapas de captura considerou-se o número médio de lances de pesca (2,76 lances por dia), que compreende as etapas de lançamento, espera e recolhimento, multiplicado pela média dos dias efetivos de pesca (16 dias).

### 7.1 Sistema diesel

O motor selecionado para suprir a potência total requerida de 42 kW para o sistema de propulsão diesel “convencional”, calculada na subseção 6.2.4, foi o motor MWM D 229-6, com as seguintes especificações:

**Tabela 7.1** - Características do Motor Diesel selecionado.

Modelo	Potência Contínua	RPM Máxima	CEC a 75% da $rpm_{\max}$ (l/hp-h)
MWM - D229-4	54 kW (72,4 bhp)	2.500	0,21

**Fonte:** (MWM, 2017).

A estimativa do consumo de combustível com a utilização deste motor foi feita levando-se em consideração a porcentagem de potência necessária no motor para cada etapa. Essa porcentagem é calculada da seguinte forma:

$$\text{Porcentagem Potência} = \text{Potência Requerida} \div \text{Potência Instalada}$$

Deste modo, o consumo de combustível foi calculado da seguinte maneira:

$$C = P_{inst} \cdot (P_{req}/P_{inst}) \cdot \text{CEC} \cdot t \quad (7.1)$$

Onde:

$P_{req}$  = Potência requerida em uma determinada etapa;

$P_{inst}$  = Potência do motor selecionado = 54 kW (72,4 bhp);

T = Tempo de operação em uma determinada etapa [h].

A potência requerida em cada etapa de uma viagem típica de pesca foi calculada através da mesma metodologia da seção 6.1, utilizada no cálculo da potência total instalada. Porém, para calcular a  $R_t$  e a  $P_{req}$  a partir da planilha de Holtrop (tabela 6.3), serão utilizadas as velocidades médias em cada etapa, obtidas na pesquisa de campo.

**Tabela 7.2** - Parâmetros utilizados na estimativa do consumo de combustível das etapas de uma viagem típica de pesca: Sistema diesel “convencional”.

Etapas	V (nós)	Tempo (h)	$R_t$ (kN)	$P_e$ (kW)	$P_t$ (kW)	$P_d$ (kW)	$P_m$ (kW)	$P_{req}$ (kW)
<b>Ida</b>	6,2	28,8	2,7	8,4	9,7	17,7	18,8	42,2
<b>Lançamento</b>	5,3	1,8	1,9	5,3	6,1	11,2	11,9	27,8
<b>Espera (*)</b>	0,0	1,3	-	-	-	-	-	5,0
<b>Recolhimento</b>	2,9	3,0	0,6	1,0	2,0	2,0	2,2	13,8
<b>Volta</b>	6,0	25,2	2,7	8,4	9,7	17,7	18,8	42,2

(\*) Na etapa de espera foi considerada somente a potência requerida para suprir a demanda elétrica, visto que nesta etapa os pescadores mantêm seus motores com rotações próximas a zero ou desligados, conforme explicado no capítulo 5; seção 5.4.

A potência requerida foi considerada como a soma da potência necessária para propulsão com a potência requerida para atender a demanda elétrica da embarcação em cada etapa de pesca, apresentada na tabela 6.7. As demais potências são as mesmas explicadas na seção 6.1:

$R_t$  = Resistência ao avanço da embarcação;

$P_e$  = Potência efetiva;

$P_t$  = Potência de empuxo;

$P_d$  = Potência entregue ao propulsor;

$P_m$  = Potência fornecida pelo motor.

Para todas as etapas da viagem de pesca, foi considerado o CEC de 0,21 l/hp-h informado na tabela 7.1.

A tabela 7.3 apresenta os resultados da estimativa do consumo de combustível por etapas de uma viagem típica de pesca.

**Tabela 7.3** - Cálculo do consumo por etapas de uma viagem típica de pesca: Sistema diesel “convencional”.

Etapas	Consumo médio estimado (l): Sistema Diesel “convencional” - motor 72,4 hp
Ida	342
Volta	300
<b>Total Acesso aos Pesqueiros</b>	<b>642</b>
Lançamento	607
Espera	84
Recolhimento	524
<b>Total Captura</b>	<b>1.215</b>
<b>Total Viagem de pesca</b>	<b>1.857</b>

**Fonte:** Elaboração própria.

Vale ressaltar que no cálculo do tempo das etapas de lançamento, espera e recolhimento, considerou-se o número médio de lances de pesca multiplicado pela média dos dias efetivos de pesca.

## 7.2 Sistema diesel elétrico

No sistema diesel elétrico, a potência requerida no grupo gerador, conforme explicado na subseção 6.2.5, foi de 45,7 kW. Para suprir esta potência, foram selecionados dois grupos geradores da Cummins, modelo 27,5 MDKBT de 27,5 kW cada, com as seguintes especificações:

**Tabela 7.4** - Características do Grupo Gerador selecionado.

Modelo	Potência Elétrica (kW)	RPM Motor	Frequência (Hz)
Cummins: 27,5 MDKBT	27,5	1.800	60
Consumo de Combustível (l/h)			
25% da carga máxima	50% da carga máxima	75% da carga máxima	100% da carga máxima
3,7	5,1	6,7	9,2

**Fonte:** (CUMMINS ONAN, 2017).

O cálculo do consumo em cada etapa de uma viagem típica de pesca foi feito levando-se em consideração o consumo horário informado pelo fabricante (tabela 7.4), assim como a porcentagem de potência necessária de cada grupo gerador em cada etapa:

$$C = [(\% \text{ Potência}_{\text{Ger 1}} \cdot \text{Consumo}_{\text{Ger 1}}) + (\% \text{ Potência}_{\text{Ger 2}} \cdot \text{Consumo}_{\text{Ger 2}})] \cdot t \quad (7.2)$$

Assim como no caso do sistema diesel, a porcentagem de potência necessária em cada gerador foi calculada pela relação  $(P_{\text{req}}/P_{\text{inst}})$ , onde a potência requerida foi considerada como a soma da potência exigida para propulsão com a potência necessária para atender a demanda elétrica da embarcação em cada etapa de pesca.

$P_{\text{req}}$  = Potência requerida em uma determinada etapa;

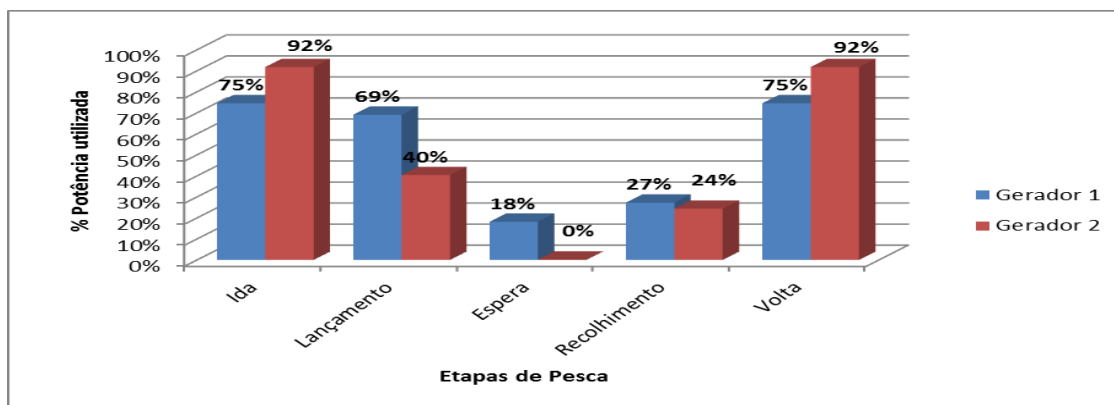
$\text{Consumo}_{\text{Ger}}$  = Consumo específico de combustível do gerador [l/h];

$P_{\text{inst}}$  = Potência do gerador selecionado = 27,5 kW;

T = Tempo de operação em uma determinada etapa [h].

O consumo de combustível dos geradores em cada etapa dependerá de sua carga de operação, bem como do tempo que a embarcação ficará naquela determinada etapa.

A figura 7.1 mostra o percentual da carga máxima que os geradores devem operar em cada etapa de uma viagem de pesca, de modo a otimizar o seu consumo específico de combustível, apresentado na tabela 7.5.



**Figura 7.1:** Percentual de potência utilizada pelos geradores por etapas de pesca.

**Fonte:** Elaboração própria.

**Tabela 7.5 -** Cálculo do consumo de diesel dos geradores em cada etapa de pesca.

Etapas	Tempo (h)	Potência Requerida Balanço Elétrico (kW)	Potência Requerida Propulsão (kW)	Geradores	Consumo Combustível (l/h)	Consumo Combustível (l)
Ida	28,8	10,4	21,3	Gerador 1	9,2	243
				Gerador 2	6,7	144
Lançamento	77,5	7,4	13,4	Gerador 1	6,7	359
				Gerador 2	5,1	160
Espera (*)	59,1	5	-	Gerador 1	3,7	40
				Gerador 2	0	0
Recolhimento	134,7	7,4	2,5	Gerador 1	5,1	187
				Gerador 2	3,7	121
Volta	25,2	10,4	21,3	Gerador 1	9,2	213
				Gerador 2	6,7	126

(\*) Na etapa de espera foi considerada somente a potência requerida para suprir a demanda elétrica, visto que nesta etapa os pescadores mantêm seus motores com rotações próximas a zero ou desligados, conforme explicado no capítulo 5; seção 5.4.

O Percentual de potência utilizada em cada gerador nas diferentes etapas da viagem de pesca foi calculado de modo a atingir o consumo total de combustível mínimo. Em uma planilha Excel, variou-se o percentual de utilização dos geradores até encontrar o valor em que o consumo final de combustível seja mínimo em cada etapa de pesca, a partir do consumo horário mínimo dos geradores. Para os valores de consumo situados entre os pontos informados na tabela 7.4 (25%; 50%; 75% e 100% da carga máxima), foi considerado o valor de maior consumo. Por exemplo, caso um gerador opere entre 25% e 50% de sua carga, é considerado o consumo de 5,1 l/h (consumo referente a 50% da carga máxima). Deste modo, destaca-se a importância de um bom

gerenciamento de utilização dos geradores em cada etapa de pesca para minimizar o consumo total.

A estimativa final do combustível consumido total e por etapas de uma viagem típica de pesca é apresentado na tabela 7.6 a seguir:

**Tabela 7.6 - Cálculo do consumo por etapas de uma viagem típica de pesca: Sistema diesel elétrico.**

Consumo (l) /Etapas	Consumo médio estimado (l) - Sistema diesel elétrico
Ida	387
Volta	339
<b>Total Acesso aos Pesqueiros</b>	<b>726</b>
Lançamento	518
Espera	40
Recolhimento	309
<b>Total Captura</b>	<b>867</b>
<b>Total Viagem de pesca</b>	<b>1.593</b>

**Fonte:** Elaboração própria.

### **7.3 Comparação do consumo de energia dos diferentes sistemas de propulsão para uma embarcação típica de espinhel**

Entre os quatro métodos testados, o método 4 foi o que apresentou os melhores resultados baseado na comparação com o consumo obtido na pesquisa de campo através do cálculo do EPAM.

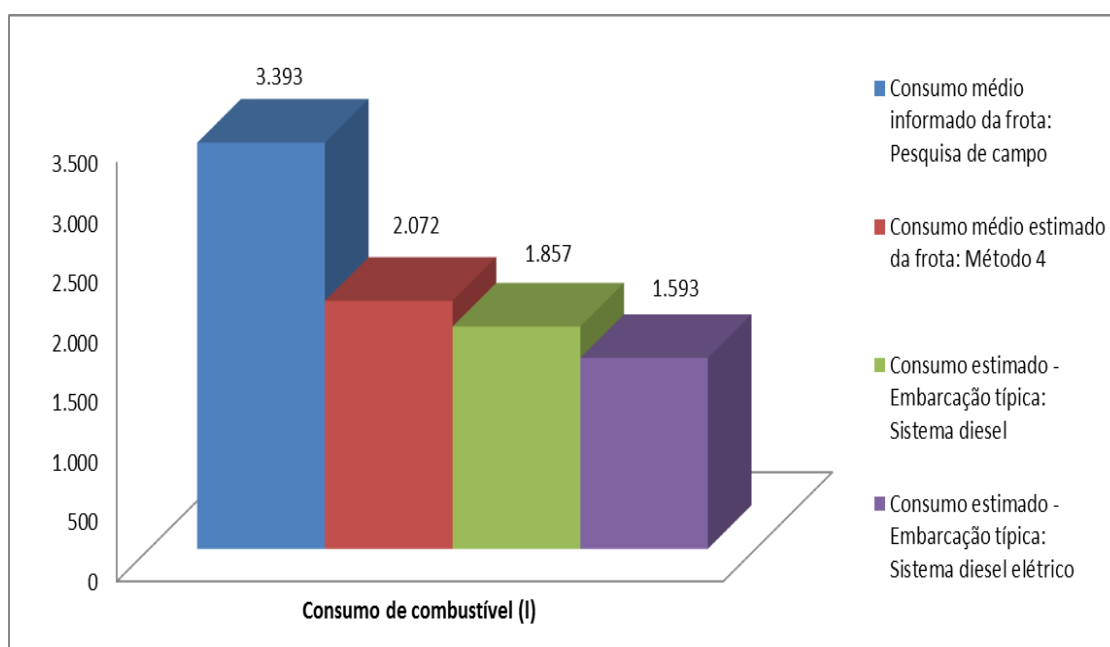
O consumo médio da frota estimado pelo método 4 foi de 2.072 litros. Porém, esta estimativa consiste na soma das estimativas de cada etapa de uma viagem de pesca (ida, lançamento, espera, recolhimento e volta), desconsiderando as etapas de deslocamento entre as zonas de pesca.

Calculando o consumo médio da frota através deste método considerando a potência média dos motores (223 bhp) e o número médio de dias-mar (20 dias), o valor estimado seria de 3.432 litros, bem próximo do consumo médio de 3.393 litros, obtido na pesquisa de campo.

**Tabela 7.7 - Comparação das estimativas do consumo de combustível.**

Consumo Estimado(l) por Etapas	Consumo médio informado	Consumo médio estimado – Método 4	Sistema Diesel “convencional”- Motor 72,4 bhp	Sistema diesel elétrico
Ida	-	208	342	387
Volta	-	177	300	339
<b>Total Acesso aos Pesqueiros</b>	-	<b>385</b>	<b>642</b>	<b>726</b>
Lançamento	-	567	607	518
Espera	-	163	84	40
Recolhimento	-	956	524	309
<b>Total Captura</b>	-	<b>1.687</b>	<b>1.215</b>	<b>867</b>
<b>Total Viagem de pesca</b>	<b>3.393</b>	<b>2.072</b>	<b>1.857</b>	<b>1.593</b>

**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 7.2:** Estimativas do consumo de combustível total de uma viagem de pesca.

**Fonte:** Elaboração própria.

A modelagem de uma embarcação feita com base nas principais dimensões e parâmetros da amostra pesquisada permitiu calcular a potência requerida no sistema diesel, denominado sistema diesel “convencional” assim como no sistema diesel elétrico, para realizar as estimativas de consumo de combustível nestes sistemas.

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que, para a embarcação modelada, o consumo do sistema diesel elétrico foi 14% menor que o sistema diesel. Apesar do consumo ligeiramente superior nas etapas de acesso (ida e volta), a redução

no consumo total ocorreu em função do menor consumo verificado na fase de captura, que consiste nas etapas de lançamento, espera e recolhimento. Nestas etapas, é justificada a utilização do sistema diesel elétrico, em que a embarcação opera com velocidades reduzidas.

Portanto, com o perfil operacional traçado para a embarcação de espinhel, a utilização de propulsão diesel elétrica se mostrou adequada, já que a embarcação permanece, em média, 83% do tempo em atividades de pesca, onde a etapa de recolhimento do espinhel consome 41% do tempo total de uma viagem de pesca.

Ou seja, durante 41% do tempo de sua operação, uma embarcação de espinhel com motor diesel de 72,4 bhp opera com algo em torno de 26% da potência instalada. O funcionamento do motor diesel em baixa carga irá impactar o seu desempenho, aumentando o seu CEC.

### **7.3.1 Consumo equivalente de energia do sistema de conservação do pescado**

De acordo com o cálculo do consumo equivalente de energia relativo à quantidade de gelo utilizada para a conservação do pescado capturado, demonstrado na seção 5.5, pode-se observar um grande potencial de redução de gelo embarcado. A proporção média de 1,92:1 gelo-peixe calculada para a amostra é bem superior à relação recomendada de 1:2 para águas temperadas ou 1:1 para águas tropicais, podendo ser reduzida em 30% a 50% caso o porão for refrigerado (PRADO; DREMIÈRE, 1990; SHAWYER; MEDINA PIZZALI, 2003). A quantidade média de 10,4 toneladas de gelo embarcado representa um consumo equivalente médio de 828 kWh ou 83 litros de diesel. Somando este valor ao consumo estimado da embarcação típica com o sistema diesel convencional, o combustível total consumido em uma viagem de pesca seria 1.940 litros. No caso do sistema diesel elétrico, o consumo resultante seria de 1.689 litros.

A opção de utilizar equipamentos de refrigeração no porão de armazenamento do pescado poderá reduzir a quantidade de gelo embarcado, ou até eliminar a sua utilização.

Com o objetivo de avaliar a variação no consumo de energia equivalente ao sistema de conservação do pescado, foi feita a comparação do consumo energético entre o sistema diesel e diesel elétrico considerando estas duas situações possíveis de



conservação do pescado. Somente com o uso de gelo embarcado ou a utilização de porões refrigerados para garantir a preservação e reduzir a quantidade de gelo. Para realizar os cálculos necessários, foi considerado um equipamento de refrigeração com potência de 3,49 kW e capacidade de refrigeração de 3.000 kcal/h (RECRUSUL, 2016).

O consumo de combustível estimado será maior devido à potência do equipamento de refrigeração que terá de ser considerada no balanço elétrico (tabela 6.7).

Considerando este equipamento de refrigeração a demanda elétrica no pior caso será de  $(10,4 + 3,49 = 13,9 \text{ kW})$  para a situação de navegação em condições normais. No momento da pesca, a potência será aumentada para  $(7,4 + 3,49 = 10,9 \text{ kW})$  nas etapas de lançamento e recolhimento, enquanto que na etapa de espera, a nova potência requerida para atender a demanda elétrica será de  $(5 + 3,49 = 8,5 \text{ kW})$ .

A tabela 7.8 mostra a variação do combustível consumido para os dois tipos de sistema propulsor, com a utilização do sistema de refrigeração.

**Tabela 7.8** - Comparação do consumo de combustível dos diferentes sistemas de propulsão com o uso de porão refrigerado.

Consumo (l)	Sistema Diesel "convencional" sem refrigeração	Sistema Diesel "convencional" com refrigeração	Sistema diesel elétrico sem refrigeração	Sistema diesel elétrico com refrigeração
Total Viagem de pesca	1.857	2.293	1.593	2.090
<b><math>\Delta</math> % (sistema com refrigeração - sistema sem refrigeração)</b>	<b>24%</b>		<b>31%</b>	

**Fonte:** Elaboração própria.

Pode-se observar que houve um aumento no consumo energético de 24% no caso do sistema diesel e de 31% no sistema diesel elétrico. Entretanto, a utilização do sistema de refrigeração possibilitará a redução da quantidade de gelo utilizada e, consequentemente, da energia consumida.

Como foi citado anteriormente, a relação gelo:peixe necessária pode ser reduzida em 30% a 50% com a utilização de um sistema de refrigeração no porão das embarcações pesqueiras (PRADO; DREMIÈRE, 1990; SHAWYER; MEDINA PIZZALI, 2003).

Adotando uma redução mais conservadora de 30% na relação 1:1 gelo-peixe, recomendada para águas tropicais, ou seja, uma relação 0,7:1 gelo-peixe, resultaria em um consumo equivalente de 302 kWh.

Comparando com a relação gelo:peixe de 1,92:1 verificada na amostra pesquisada (seção 5.5) que resultou em um consumo médio equivalente de 828 kWh, poderíamos obter uma redução de 64% no consumo energético relativo ao gelo embarcado. Com esta redução da relação gelo-peixe de 1,92:1 para 0,7:1 com uma captura média de 5,4 toneladas, haverá uma redução de aproximadamente 6,6 toneladas de gelo (10,4 para 3,8 toneladas).

Além do menor consumo energético, a redução no uso de gelo com a utilização de porões refrigerados ocasionará importantes benefícios, como: maior facilidade de manuseio do pescado nos porões das embarcações e menor risco de dano, devido a menor quantidade de gelo necessária para seu acondicionamento; aumento de espaço útil na embarcação; diminuição de custos relativos ao gelo e redução de peso embarcado, que poderá reduzir também o consumo de combustível.

#### **7.4 Emissões**

A quantificação das emissões de GEE da frota de espinhel de fundo mostrou possibilidades de redução de emissões somente pelo correto dimensionamento da potência instalada nos motores das embarcações ou pela substituição do sistema de propulsão.

A tabela 7.9 mostra a comparação das emissões de GEE com base no consumo estimado da embarcação típica para os sistemas diesel convencional e diesel elétrico com as emissões médias da frota, baseadas na estimativa de consumo feita pelo método 4.

**Tabela 7.9** - Emissões de GEE por etapas de uma viagem de pesca.

Etapas de uma viagem de pesca	CO <sub>2</sub> e (kg) - Método 4 (média da frota)	CO <sub>2</sub> e (kg) - Sistema diesel - embarcação típica	CO <sub>2</sub> e (kg) - Sistema diesel elétrico - embarcação típica
Ida	623	1.023	1.158
Lançamento	1.697	1.817	1.550
Espera	488	251	120
Recolhimento	2.860	1.567	921
Volta	529	896	1.014
Total	6.197	5.554	4.763

**Fonte:** Elaboração própria.

Com base no consumo estimado pelo método 4, a frota de espinhel de fundo emitiu um total de 105 tCO<sub>2</sub>e. A emissão média da frota para todas as etapas de pesca foi de aproximadamente 6,2 tCO<sub>2</sub>e, onde a etapa de recolhimento foi responsável pela maior quantidade de emissões (2,86 tCO<sub>2</sub>e), devido ao maior consumo de combustível desta etapa.

As emissões de CO<sub>2</sub> podem ser reduzidas com a diminuição do consumo de combustível (ZIEGLER; HANSSON, 2003) que pode ser alcançada através da adoção de práticas ou tecnologias que visem à economia de combustível. O uso de propulsão diesel elétrica em uma embarcação típica de espinhel diminuiria, teoricamente, as emissões em aproximadamente 23% ou 1,4 tCO<sub>2</sub>e em relação às emissões médias da frota.

Considerando a substituição de todas as embarcações da frota pela embarcação típica com sistema diesel elétrico, ou seja, multiplicando as emissões calculadas neste caso (4,8 tCO<sub>2</sub>e) pelo número total de embarcações (17 embarcações), as emissões totais seriam de 81 tCO<sub>2</sub>e. Isto representaria uma redução de aproximadamente 24 tCO<sub>2</sub>e emitidos em comparação com as estimativas atuais de 105 tCO<sub>2</sub>e.

Comparando os dois sistemas de propulsão na embarcação típica, esta redução seria de 14% ou 0,79 tCO<sub>2</sub>e. A baixa carga do motor durante as etapas de lançamento e recolhimento do espinhel leva a um maior consumo de combustível e, conseqüentemente, a maiores emissões de GEE. Somente nestas etapas, pode-se perceber que 0,91 tCO<sub>2</sub>e poderiam ser evitadas com o uso de propulsão diesel elétrica.

## **8. Considerações finais**

### **8.1 Principais conclusões**

O objetivo deste estudo foi examinar, qualitativa e quantitativamente, a escala do uso de energia e o potencial de redução do consumo de combustível fóssil e das emissões de GEE no setor pesqueiro.

A avaliação quantitativa restringiu-se a frota de espinhel de fundo do Rio de Janeiro, a partir de uma comparação entre quatro métodos de estimativa de consumo de combustível para as diferentes etapas de uma viagem de pesca destas embarcações. Esta estimativa foi feita com o auxílio de informações obtidas em uma pesquisa de campo com uma amostra de dezessete embarcações de espinhel de fundo que operam no Rio de Janeiro, durante campanhas de campo em 2015 e 2016.

Foi utilizada uma abordagem empírica para modelar a potência necessária em uma embarcação típica de espinhel para os sistemas de propulsão diesel e diesel elétrico, a fim de avaliar as variações no consumo de combustível e emissões de GEE.

Entre os métodos de estimativa de consumo de combustível avaliados, o método 4 apresentou o melhor resultado com base no cálculo do EPAM, comparativamente ao consumo obtido na pesquisa de campo.

Isto mostrou que é possível fazer estimativas mais precisas somente com dados relativos ao consumo total de combustível de uma viagem de pesca e à potência e tempo de operação dos motores em cada etapa. Além disso, podemos concluir que a adoção de um valor único para o CEC para diferentes artes de pesca irá gerar erros de estimativa, uma vez que cada método de pesca possui um perfil operacional característico e utilizam equipamentos específicos, o que influenciará o seu consumo de combustível.

Adicionalmente, foram avaliados os perfis de consumo energético das principais artes de pesca empregadas no Brasil e no mundo, com o intuito de comparar o desempenho no uso de energia destas modalidades de pesca com a pesca de espinhel de fundo analisada nesta tese. Esta comparação foi realizada com base no cálculo do indicador de eficiência energética denominado IUC (Intensidade do Uso de Combustível), que relaciona a quantidade de combustível utilizada com o total de pescado capturado.

Foi observada uma grande variação na IUC calculada para diferentes tipos de pesca, variando segundo as espécies alvo, tipo de artes de pesca e entre os diferentes estudos e metodologias de pesquisa.

Os resultados obtidos com os dados da pesquisa de campo mostraram que a frota de espinhel de fundo que opera nos portos do estado do Rio de Janeiro possui uma IUC semelhante à de outras modalidades de pesca passivas, como a rede de emalhe e de algumas modalidades que operam com linhas e anzóis, (modalidade que inclui a pesca de espinhel). Na comparação com outras análises regionais ou nacionais específicas de frotas de embarcações de *longline* a IUC foi semelhante ou superior, apesar do fato que estes estudos foram realizados em períodos bem distintos, com outros cenários de preços de energia e desenvolvimento tecnológico (TYEDMERS, 2001) ou com embarcações de características e padrões operacionais diferentes (THOMSEN et al., 2010). Isto indica um elevado potencial de redução no consumo de combustível por unidade de captura da frota de espinhel, operando de modo mais eficiente.

Contudo, para um estudo mais aprofundado com relação à eficiência energética são necessários maiores esforços na coleta e análise de dados referentes ao consumo energético de embarcações de diferentes frotas pesqueiras, especialmente no Brasil, onde poucos estudos desta natureza são encontrados.

A metodologia de dimensionamento da motorização total nos sistemas diesel e diesel elétrico buscou avaliar se as embarcações estão utilizando motores com potência adequada às operações da pesca, de modo a ajudar os pescadores a diminuir o consumo de combustível com um uso mais racional de energia. Isto pode ser conduzido com a redução da potência instalada, selecionando um motor adequado com o perfil operacional da pesca de espinhel ou com a utilização de outras tecnologias de propulsão, como o sistema diesel elétrico.

Os resultados da estimativa de potência requerida para o sistema diesel mostraram que os motores utilizados são muito mais potentes que o necessário, indicando um potencial de redução no consumo de combustível somente com a instalação de motores menores.

Entretanto, o perfil operacional observado na frota de espinhel indicou a possibilidade de economias importantes com a utilização de propulsão diesel elétrica. As embarcações permanecem, em média, 83% do tempo de uma viagem de pesca na fase de captura, com seus motores operando em cargas baixas. Somente a etapa de

recolhimento representou 41% do tempo total de uma viagem de pesca. O funcionamento do motor diesel em baixa carga irá impactar o seu desempenho, aumentando o CEC.

No caso da embarcação típica com motor diesel de 72,4 bhp, a carga no motor foi de 26% em 41% do tempo, resultando em um consumo de combustível 70% maior que o estimado para o sistema diesel elétrico na etapa de recolhimento.

Deste modo, apesar do consumo ligeiramente superior nas etapas de acesso, o consumo total do sistema diesel elétrico foi 14% inferior ao consumo estimado do sistema diesel e 23% inferior ao consumo estimado pelo método 4 para a frota analisada.

As emissões de GEE da frota também foram quantificadas, indicando possibilidades de redução de emissões somente com o correto dimensionamento da potência instalada nos motores das embarcações ou pela substituição do sistema de propulsão, em função da redução no consumo de combustível explicitada anteriormente.

Os resultados mostraram que a redução no consumo de combustível com a utilização do sistema diesel elétrico indicou uma potencial redução de aproximadamente 0,8 tCO<sub>2</sub>e nas emissões totais de GEE, em função da considerável redução nas etapas de lançamento e recolhimento. Somente nestas duas etapas, quase uma tonelada de CO<sub>2</sub>e poderia ser evitada. Em comparação com as emissões médias da frota, estimadas pelo método 4, a redução de emissões de GEE em uma viagem de pesca seria de 23% (1,4 tCO<sub>2</sub>e), assim como a redução do consumo de combustível verificada.

As informações coletadas na pesquisa de campo também possibilitaram avaliar a eficiência do sistema de conservação do pescado, com relação à energia consumida para o seu acondicionamento, através do cálculo do indicador que relaciona a quantidade de gelo embarcado com o total de pescado capturado. Foi observado que todas as embarcações da frota utilizam gelo produzido em terra e levado a bordo para o resfriamento do pescado. Esta técnica consiste em intercalar camadas de peixe e gelo no porão de armazenamento.

Verificou-se um grande potencial de redução de gelo consumido, devido a elevada relação de 1,92:1 gelo-peixe calculada para a amostra, mostrando-se bem superior à relação recomendada em referências internacionais de 1:2 para águas temperadas ou 1:1 para águas tropicais, podendo ainda ser reduzida em 30% a 50% caso

seja utilizado porão refrigerado (PRADO; DREMIÈRE, 1990; SHAWYER; MEDINA PIZZALI, 2003).

Comparando a relação gelo:peixe de 1,92:1 verificada na amostra pesquisada, com a relação 0,7:1 gelo-peixe<sup>16</sup>, pode-se observar uma redução de 64% no consumo energético relativo ao gelo embarcado, com uma redução de aproximadamente 6,6 toneladas de gelo, apesar do aumento no consumo energético com a utilização do sistema de refrigeração.

Vale destacar também os outros benefícios da redução no consumo de gelo com a utilização de porões refrigerados, como o manuseio mais adequado do pescado nos porões das embarcações e menor risco de dano; aumento de espaço útil na embarcação; diminuição de custos relativos ao gelo e redução de peso embarcado, que poderá reduzir também o consumo de combustível.

## **8.2 Sugestões para trabalhos futuros**

A partir das análises empreendidas ao longo desta tese, são vislumbrados alguns desdobramentos para trabalhos futuros acerca do tema aqui tratado:

- Aplicação da metodologia apresentada a outras modalidades de pesca e ao setor pesqueiro como um todo;
- Avaliação e monitoramento da IUC calculada ao longo do tempo, assim como o cálculo e monitoramento da IUC de outras modalidades de pesca, para que possam ser identificadas as tendências relativas à sustentabilidade da atividade pesqueira em termos do uso de energia;
- Análise e proposição de outras medidas de redução do consumo de combustível fóssil em embarcações pesqueiras, como o uso de fontes alternativas de energia, biocombustíveis e/ou a adoção de sistemas de gestão e padrões operacionais mais eficientes;
- Aprimoramento do modelo de resistência ao avanço, como a implementação de outros métodos de cálculos para resistência ao avanço da embarcação, de forma que a planilha possa calcular essa resistência para outros tipos de embarcações, ou o desenvolvimento de outras ferramentas computacionais com a utilização de algoritmos que possibilitem o dimensionamento do hélice para outras famílias de hélices além das

---

<sup>16</sup> Esta relação 0,7:1 gelo-peixe foi obtida adotando uma redução de 30% na relação 1:1 gelo-peixe recomendada para águas tropicais.

séries de Wageningen e a estimativa de potência dos principais componentes do sistema propulsor;

- Comparação da estimativa de consumo de combustível e emissões de GEE com outros tipos de sistema de propulsão, como o sistema híbrido em série e em paralelo;
- Análise da viabilidade econômica e tempo do retorno de investimento da substituição do sistema de propulsão diesel pelo diesel elétrico;
- Avaliação econômica do impacto da redução do consumo de combustível fóssil em frotas pesqueiras, dada a sua representatividade na estrutura de custos das embarcações.



## Referências Bibliográficas

ABNT. **NBR 7567: Execução de Balanço Elétrico** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1982.

ADNANES, A. K. **Maritime Electrical Installations And Diesel Electric Propulsion**. [s.l.] ABB AS, 2003.

AFONSO, M. **História de pescador: um século de transformações técnicas e socioambientais na pesca do caíçara do litoral de São Paulo (1910-2011)**. Dissertação de Mestrado-Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - FFLCH - Departamento de História: Universidade de São Paulo, 2013.

ALVES, R. N. **PROPULSÃO ELÉTRICA DE NAVIOS**. Dissertação de Mestrado-Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, Rio de Janeiro, RJ - Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, out. 2007.

APRIAINEN, M. et al. Naval Architecture of Electric Ships-Past, Present and Future. **SNAME Transactions**, v. 101, p. 583–607, 1993.

ARRINGTON, J. W. **The Analysis of Components, Designs, and Operation for Electric Propulsion and Integrated Electrical System**. Master of Science in Electrical Engineering, Monterey, California - USA: Naval Postgraduate School (NPS), set. 1998.

ÁVILA-DA-SILVA, A. O.; MOREIRA, L. H. A. ANÁLISE DA PESCA DE PEIXES DEMERSAIS COM LINHA-DE-FUNDO PELAS FROTAS DO RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO DE 1996 A 1999. In: **ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PESCARIAS COMERCIAIS DO SUDESTE-SUL DO BRASIL**. LEVANTAMENTO DOS RECURSOS VIVOS DA ZONA ECONÔMICA EXCLUSIVA PROGRAMA REVIZEE/SCORE-SUL. [s.l.] Maria Cristina Cegole e Carmen Lúcia Del Bianco Rossi-Wongtschowski, 2003. v. Volume Ip. 315–331.

BALASHOV, S. **Design of marine generators for alternative diesel-electric power system**. Faculty of Technology - Department of Electrical Engineering: LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2011.

BASURKO, O. C.; GABIÑA, G.; URIONDO, Z. Energy audits of fishing vessels: lessons learned and the way forward. **Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain**, p. 7, 2012.

BASURKO, O. C.; GABIÑA, G.; URIONDO, Z. Energy performance of fishing vessels and potential savings. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 30–40, set. 2013.

BEGOT, L. H.; VIANNA, M. A FROTA PESQUEIRA COSTEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 40, n. 1, p. 79–94, 2014.

BERNITSAS, M. .; RAY, D.; KINLEY, P. **KT, KQ and Efficiency Curves for the Wageningen B-series Propellers**. Department of Naval Architecture and Marine

Engineering, College of Engineering, University of Michigan: University of Michigan, 1981. v. 237

BJORDAL, Å.; LØKKEBORG, S. **Longlining**. Oxford [England] ; Cambridge, Mass., USA: Fishing News Books, 1996.

BORMAN, J. B.; SHARMAN, B. P. Electric propulsion – a view from a classification society. **The Institute of Marine Engineers, Paper 15, Electric Propulsion The Effective Solution?**, out. 1995.

BRASIL. Lei n.º 11.959, de 29 de junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei no 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei nº 221, de 28 de fevereiro de 1967, e dá outras providências. Diário Oficial da União. . 30 jun. 2009, Sec. 01, p. 01–03.

BRASIL. Nº 10. Ministério da Pesca e Aquicultura. Instrução Normativa Interministerial nº 10, de 14 de Outubro de 2011. Diário Oficial da União. . 18 out. 2011, Sec. 01, p. 61–62.

CARDOSO, E. S. Geografia e pesca: aportes para um modelo de gestão. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 78–88, 2001.

CASSERES, E. M. M. D. **POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO2 DO TRANSPORTE MARÍTIMO INTERNACIONAL: UMA ANÁLISE BASEADA EM CENÁRIOS PARA O CASO DOS NAVIOS-TANQUE DE PETRÓLEO BRUTO**. Dissertação de Mestrado—Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, fev. 2018.

CBFI. **Icesource Refrigeration Equipement. CBFI - Customers Benefit From Icesource**. Disponível em: <<http://cbfiicemachine.com/5-ice-flake-machine/163930>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

CHEILARI, A. et al. Effects of the fuel price crisis on the energy efficiency and the economic performance of the European Union fishing fleets. **Marine Policy**, v. 40, p. 18–24, jul. 2013.

CUMMINS ONAN. **Folha de Especificações: Marine generator set Quiet Diesel™ Series 22.5/27.5 QD Model MDKBT**Cummins Onan, , 2017. Disponível em: <[http://www.cumminsonan.com.br/maritimo\\_modelo\\_gerador\\_27-5.asp](http://www.cumminsonan.com.br/maritimo_modelo_gerador_27-5.asp)>. Acesso em: 22 jan. 2017

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING OF UNITED STATES NAVAL ACADEMY. **Marine electric drive overview**, 2006. . Acesso em: 20 jul. 2015

DIEGUES, A. C. S. **Pescadores, camponeses e trabalhadores do mar**. São Paulo: Atica, 1983.

DOYLE, T.; STEVENS, H. .; ROBEY, H. An Historical Overview of Navy Electric Drive. **Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment.**, 1999.

DPC. **NORMAN 01/2005 – Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação de Mar Aberto.** [s.l.] Diretoria de Portos e Costas - Marinha do Brasil, 2005.

DUNLOP, A. P. **Equipamentos Modernos de Praça de Máquinas e Impactos no Consumo Térmico e Elétrico do Navio.** Projeto de Graduação—Curso de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica, Rio de Janeiro, RJ - Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, fev. 2015.

EL-GOHARY, M. M.; EL-SHERIF, H. A. **MR351 - Ship Propulsion Systems Third Year.** Faculty of Engineering Naval Architecture and Marine Engineering Department.: Alexandria University, 2004.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009.** Rio de Janeiro, Brasil: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2010.

FAO. **Monitoring of fish stock abundance: The use of catch and effort data ; FAO. UNEP ; A report of the ACMRR Working Party on Fishing Effort and Monitoring of Fish Stock Abundance.** Rome, Italy: [s.n.].

FAO (ED.). **Contributing to food security and nutrition for all.** Rome: [s.n.].

FAO **Fisheries & Aquaculture - Fisheries technology.** Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/technology/en>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

FEIJÓO, G. C. **ESTUDO DO SISTEMA ELÉTRICO EM EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS COM PROPULSÃO DIESEL-ELÉTRICA.** Trabalho de graduação—Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2012.

FERNÁNDEZ, A. S. et al. Potential of hybrid systems with permanent magnet motors for propulsion improvement on surface longliners. **First International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing, Vigo, Spain, 2010.**

FILHO, G. D. DO V. **Avaliação das instalações de máquinas em navios visando redução do uso de combustível fóssil.** Dissertação de Mestrado—Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP - Brasil: Universidade de São Paulo, 2011.

FIPERJ. **Relatório Final 2013.** [s.l.] FIPERJ, Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro, 2013a. Disponível em: <[www.fiperj.gov.br](http://www.fiperj.gov.br)>.

FIPERJ (ED.). **Diagnóstico da Pesca do Estado do Rio de Janeiro. Projeto de Monitoramento da Pesca no Estado do Rio de Janeiro – Estatística Pesqueira.** Niterói: FIPERJ, Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro, 2013b.

FIPERJ. **Relatório Final 2014**. Rio de Janeiro: FIPERJ, Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[www.fiperj.gov.br](http://www.fiperj.gov.br)>.

FONSECA, M. M. **Arte Naval**. 7<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Serviço de documentação da Marinha: [s.n.].

GABIÑA, G. et al. Energy efficiency in fishing: Are magnetic devices useful for use in fishing vessels? **Applied Thermal Engineering**, v. 94, p. 670–678, fev. 2016.

GASCOIGNE, J.; WILLSTEED, E. **Moving Towards Low Impact Fisheries in Europe. Policy Hurdles & Actions**. Seas at Risk: MacAlister and Partners Ltd, 2009.

GIULIETTI, N.; ASSUMPÇÃO, R. DE. Indústria pesqueira no Brasil. **Agricultura em São Paulo**, p. 95–127, 1995.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

GULBRANDSEN, O. **Reducing the fuel costs of small fishing boats**. Índia: FAO & SIDA, 1986.

GULBRANDSEN, O. **Fuel savings for small fishing vessels: a manual**. Rom: FAO, 2012.

HAIMOVICI, M. et al. A pesca de linha-de-fundo na plataforma externa e talude superior da região sudeste-sul do Brasil em 1997 e 1998. In: **ANÁLISE DAS PRINCIPAIS PESCARIAS COMERCIAIS DO SUDESTE-SUL DO BRASIL. LEVANTAMENTO DOS RECURSOS VIVOS DA ZONA ECONÔMICA EXCLUSIVA PROGRAMA REVIZEE/SCORE-SUL**. [s.l.] Maria Cristina Cegole e Carmen Lúcia Del Bianco Rossi-Wongtschowski, 2003. v. Volume Ip. 347–363.

HAIMOVICI, M. (ED.). **A prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990: levantamento de dados e avaliação crítica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, 2007.

HALL, S. J. **The effects of fishing on marine ecosystems and communities**. Oxford [England] ; Malden, MA, USA: Blackwell Science, 2000.

HANSEN, J. F.; LYSEBO, R. Electric Propulsion for LNG Carriers. **LNG Journal**, p. 11–12, set. 2004.

HARVALD, S. A. **Resistance and propulsion of ships**. New York: Wiley, 1983.

HIDEKI, Y.; HIROAKI, M.; AIICHIRO, S. Energy Saving Technology of the Diesel-Electric Propulsion System for Japanese Coastal Vessels. **IHI Engineering Review**, v. Vol. 44, 2011.

HOLTROP, J. A statistical re-analysis of resistance and propulsion data. **International Shipbuilding Progress**, v. 31, n. 363, p. 272–276, nov. 1984.

HOLTROP, J.; MENNEN, G. G. . An approximate power prediction method. **International Shipbuilding Progress**, v. 29, n. 335, p. 166–170, jul. 1982.

ICMBIO - CEPESUL/IBAMA. **ICMBio - Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Sudeste e Sul**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/cepsul/component/content/article.html?id=47>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

IPCC et al. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Paris, France: IPCC/OECD/IEA, 1997.

IPCC et al. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Kanagawa (Japan): Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

JOHNSON, T. **Lessons from Fishing Vessel Energy Audits**. University of Alaska Fairbanks: Alaska Sea Grant Marine Advisory Program, 2014.

KOSKELA, M.; KOUKKARI, J.; KUUSKOSKI, J. Designing an electric propulsion system and power plant for optimum safety. **The Institute of Marine Engineers, Paper 15, Electric Propulsion The Effective Solution?**, out. 1995.

KOTAS, J. E.; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (EDS.). **A pesca de emalhe e de espinhel-de-superfície na Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Instituto Oceanográfico-USP, 2005.

LEWIS, E. V. **Principles of naval architecture**. 2nd revision (3rd ed.) ed. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.

LOGASON, A. A. K. **Feasibility study of hybrid propulsion systems for long-liner fishing vessels**. Master's Thesis in the International Master's Programme in Naval Architecture and Ocean Engineering—Department of Shipping and Marine Technology Division of Marine Technology. Göteborg, Sweden: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2015.

LOPES, F. C. **O Conflito entre a exploração offshore de petróleo e a atividade pesqueira artesanal**. Monografia de Bacharelado—Instituto de Economia: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2004.

MAN. **Diesel-electric Propulsion Plants: A brief guideline how to engineer a diesel-electric propulsion system**. [s.l.] MAN Diesel & Turbo, 2012a.

MAN. **Basic Principles of Ship Propulsion**. [s.l.] Man Diesel and Turbo, 2012b.

MAPA. **Pesca e Aquicultura - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/pesca-e-aquicultura>>. Acesso em: 8 jan. 2017.

MENDES, E. R. **PROCEDIMENTO PARA SELEÇÃO OTIMIZADA DE UM PROPULSOR DA SÉRIE B**. Trabalho de conclusão de curso—Curso de Engenharia

Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

MESSINA, G.; NOTTI, E. Energy Saving in Trawlers: Practical and Theoretical Approaches. **Proceedings of the International Conference on Marine Research and Transportation (ICMRT)**, Ischia, Naples, Italy, p. 28–30, jun. 2007.

MIGUENS, A. P. Uso dos dados tácticos do navio na navegação em águas restritas. In: **Navegação: A Ciência e a Arte. Volume I - Navegação costeira, estimada e em águas restritas**. [s.l.] Marinha do Brasil, 1995. p. 195–218.

MOLLAND, A. F.; TURNOCK, S. R.; HUDSON, D. A. **Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power**. New York: Cambridge University Press, 2011.

MONTENEGRO, C. G.; RODRÍGUEZ, D. M. Application of Hybrid-Electric Power Supply System in Fishing Vessels. **Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing**, Vigo, Spain, p. 6, 2012.

MONTFORT, G. VON. **SELEÇÃO DE SISTEMA PROPULSIVO EM CASCOS DE DESLOCAMENTO: USO DE FORMULAÇÕES CLÁSSICAS E RESULTADOS DE MEDIÇÃO**. Projeto de Graduação—CURSO DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2014.

MUIR, J. F. **FUEL AND ENERGY USE IN THE FISHERIES SECTOR Approaches, inventories and strategic implications**. Rome, Italy: [s.n.].

MWM. **MWM Motores Diesel**. Disponível em: <<http://www.mwm.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

NÉDÉLEC, C.; PRADO, J. **Definition and classification of fishing gear categories =: Définition et classification des catégories d'engins de pêche = Definición y clasificación de las diversas categorías de artes de pesca**. Rev. 1 ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1990.

NETO, J. A. G. **O território das “novas” economias e suas implicações socioambientais na comunidade pesqueira de Barra do Cunhaú Canguaretama – RN**. Dissertação de Mestrado—Centro de Ciencias Humanas, Letras e Artes. Programa de Pós graduação e Pesquisa em Geografia: Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 2009.

NOTTI, E. et al. **Effects of engine replacement on the fuel consumption reduction in fisheries. Information Collection in Energy Efficiency for Fisheries (ICEEF)**. Ancona, Italy: [s.n.].

NOTTI, E.; SALA, A.; BUGLIONE, G. Energy audits on board fishing vessels: Energy profiling can lead to reduced fuel consumption. **Eurofish magazine**, p. 27–29, 2011.

NSBA. **Review of All-Electric and Hybrid-Electric Propulsion Technology for Small Vessels**. Nova Scotia: Nova Scotia Boatbuilders Association, mar. 2015.

OOSTERVELD, M. W. .; OOSSANEN, P. V. Further Computer-Analyzed Data of the Wageningen B-screw Series. **International Shipbuilding Progress. Rotterdam - Holland**, v. 22, n. 251, jul. 1975.

PADOVEZI, C. D. **Aplicação de resultados de escala real no projeto de hélices de embarcações fluviais**. Dissertação de Mestrado—Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Universidade de São Paulo - USP, 1997.

PADOVEZI, C. D. **A NECESSIDADE DE APOIO TECNOLÓGICO PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE NAVIPEÇAS**. In: PROGRAMA PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS PLATEC II NAVIPEÇAS - 5º WORKSHOP TECNOLÓGICO; AUTOMAÇÃO E CONTROLE, GERAÇÃO DE UTILIDADES, SEGURANÇA E SALVATAGEM. , 17 out. 2011.

PARK, J.-A. et al. Fuel Use and Greenhouse Gas Emissions from Offshore Fisheries of the Republic of Korea. **PLOS ONE**, v. 10, n. 8, p. e0133778, 28 ago. 2015.

PARKER, R. W. R. et al. Environmental and economic dimensions of fuel use in Australian fisheries. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 78–86, jan. 2015.

PARKER, R. W. R.; TYEDMERS, P. H. Fuel consumption of global fishing fleets: current understanding and knowledge gaps. **Fish and Fisheries**, v. 16, n. 4, p. 684–696, dez. 2015.

PEREIRA, J. C. **Motores e Geradores. Princípios de funcionamento, instalação, operação e manutenção de grupos diesel geradores**. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br/energia/diesel.html>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

PEREIRA, N. N. **Um Estudo sobre Instalações Propulsoras para Empurradores Fluviais**. Dissertação de Mestrado—Departamento de Engenharia Naval e Oceânica: Universidade de São Paulo, 2007.

PINHEIRO, M. DE L. **ACIONAMENTO DE MOTOR SÍNCRONO DE ÍMÃS PERMANENTES (MSIP) EM EMBARCAÇÕES COM SISTEMA DE PROPULSÃO ELÉTRICA**. Dissertação de Mestrado—Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, Rio de Janeiro, RJ - Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, mar. 2013.

PORT, D.; ALVAREZ PEREZ, J. A.; DE MENEZES, J. T. RETRACTED: Energy direct inputs and greenhouse gas emissions of the main industrial trawl fishery of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 88, n. 1–2, p. 334–343, nov. 2014.

POUNDER, C. C.; WOODYARD, D. F. **Pounder's marine diesel engines and gas turbines**. 8th ed ed. Oxford ; Burlington, MA: Elsevier Butterworth Heinemann, 2004.

PRADO, J.; DREMIÈRE, P. Y. **Fisherman's workbook**. [s.l: s.n.].

REBOUÇAS, G. N. M.; FILARDI, A. C. L.; VIEIRA, P. F. Gestão integrada e participativa da pesca artesanal: potencialidades e obstáculos no litoral do estado de Santa Catarina. **Ambiente & sociedade**, v. 9, n. 2, p. 83–104, dez. 2006.

RECRUSUL. **EQUIPAMENTOS PARA REFRIGERAÇÃO DE TRANSPORTE**. Disponível em: <<http://www.recrusul.com.br/site/pt/>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

SCHAU, E. M. et al. Energy consumption in the Norwegian fisheries. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 3, p. 325–334, fev. 2009.

SCHOEPING, D. G. E. **PROJETO PRELIMINAR DE SISTEMA PROPULSIVO DE UMA EMBARCAÇÃO DE APOIO OFFSHORE DO TIPO PLATFORM SUPPLY VESSEL**. Trabalho de conclusão de curso—Programa de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Santa Catarina, SC - Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SEAFISH. **Basic Fishing Methods - A comprehensive guide to commercial fishing methods**. [s.l.: s.n.].

SHAWYER, M.; MEDINA PIZZALI, A. F. **The use of ice on small fishing vessels**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003.

SILVA, N. R. DA; AZEVEDO, A.; FERREIRA, M. I. P. Fish resources management in Brazil and overview of artisanal fisheries in Macaé, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 6, n. 2, p. 37–59, 2012.

SOLER, A. L. R.; MIRANDA, S. L. C. **Sistema elétrico de propulsão naval: Relatório Final**. EPUSP, 1997: [s.n.].

SOUZA, F. DE. **AJUSTE ITERATIVO DO CONTROLE DE UM SISTEMA DE PROPULSAO ~ DIESEL**. Dissertação de Mestrado—Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, Rio de Janeiro, RJ - Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, dez. 2009.

SOUZA, F. A. C. DE. **Avaliação de Sistemas Diesel Elétrico, Mecânico e Híbrido para embarcações de Apoio a Plataformas**. Projeto de Graduação—Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Rio de Janeiro, RJ - Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2013.

SUURONEN, P. et al. Low impact and fuel efficient fishing—Looking beyond the horizon. **Fisheries Research**, v. 119–120, p. 135–146, maio 2012.

THOMSEN, B. et al. Fuel optimisation in the Faroese fishing fleet. maio 2010.

THRANE, M. Energy Consumption in the Danish Fishery: Identification of Key Factors. **Journal of Industrial Ecology**, v. 8, n. 1–2, p. 223–239, 8 fev. 2008.

TRINDADE, J. **Hidrodinâmica e propulsão - Engenharia de Máquinas Marítimas**. [s.l.] Escola Superior Náutica Infante D. Henrique - ENIDH, 2012.



TYEDMERS, P. Energy Consumed by North Atlantic Fisheries. In: **Fisheries Impacts on North Atlantic Ecosystems: Catch, Effort and National/Regional Data Sets**. The Fisheries Centre Research Reports, University of British Columbia: Dirk Zeller, Reg Watson & Daniel Pauly, 2001. v. 9p. 12–34.

TYEDMERS, P. Fisheries and Energy Use. In: **Encyclopedia of Energy**. [s.l.] Elsevier, 2004. p. 683–693.

TYEDMERS, P. H.; WATSON, R.; PAULY, D. Fueling global fishing fleets. **Ambio**, v. 34, n. 8, p. 635–638, dez. 2005.

TYEDMERS, P.; PARKER, R. **Fuel consumption and greenhouse gas emissions from global tuna fisheries: A preliminary assessment**: ISSF Technical Report 2012-03. ISSF Technical Report 2012-03. International Seafood Sustainability Foundation, McLean, Virginia, USA: [s.n.].

U.S. COAST GUARD. **Bush Bluff Light Vessel [Nº 97]**. Lighthouse Service Bulletin II: 15 (Mar 1, 1919), 2015. Disponível em: <<http://www.uscg.mil>>. Acesso em: 14 set. 2015.

VALENTINI, H.; PEZZUTO, P. R. **Análise das principais pescarias comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil com base na produção controlada do período 1986-2004**. São Paulo: Instituto Oceanográfico-USP, 2006.

VAN BEEK, T.; VAN DER STEENHOVEN, S. **Fishing vessels, fishing technology & fisheries: [international conference] ; 13 - 14 April 2005, [Newcastle, UK ; papers]**. London: Royal Institution of Naval Architects, 2005.

VIANNA, M. et al. (EDS.). **Diagnóstico da cadeia produtiva da pesca marítima no estado do Rio de Janeiro: relatório de pesquisa**. Rio de Janeiro, Brazil: FAERJ-Federação da Agricultura, Pecuária e Pesca do Estado do Rio de Janeiro : SEBRAE-RJ, Serviço de Apoio as Micro e Pequenas Empresas, 2009.

WATANABE, H.; OKUBO, M. Energy input in marine fisheries of Japan. **NIPPON SUISAN GAKKAISHI**, v. 55, n. 1, p. 25–33, 1989.

WILGENHOF, J. D.; STAPERSMA, D. Savings in installed power, fuel consumption and emissions with electric propulsion. **AES(All Electric Ship) -INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND EXHIBITION, Paris**, p. 53–54, mar. 1997.

WILSON, J. D. K. **Fuel and financial savings for operators of small fishing vessels**. Rome: FAO, 1999.

ZIEGLER, F. et al. **There is more to greenhouse gas emissions of fisheries than carbon dioxide from fuel combustion**. Energy Use in Fisheries: Improving Efficiency and Technological Innovations from a Global Perspective. **Anais...**Seattle, USA: 14 nov. 2010

ZIEGLER, F.; HANSSON, P.-A. Emissions from fuel combustion in Swedish cod fishery. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 3, p. 303–314, maio 2003.

ZIEGLER, F.; VALENTINSSON, D. Environmental life cycle assessment of Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) caught along the Swedish west coast by creels and conventional trawls—LCA methodology with case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n. 6, p. 487–497, set. 2008.

## Anexos

### Anexo I – Questionário aplicado na pesquisa de campo

#### Questionário de Consumo Energético - Pesca de Espinhel

Porto de Saída:	Porto de Chegada:
Hora da Saída:	Hora de Chegada:
Data da Saída:	Data da Chegada:

Características da Embarcação			
Nome da Embarcação			
Comprimento da embarcação (m)	Boca da embarcação (m)	Produção Desembarcada (toneladas)	Capacidade Porão (toneladas)
Tonelagem de Arqueação Bruta (TAB)	Calado Máximo	Preço de Primeira Comercialização (R\$/kg)	
Material do casco	( ) Madeira ( ) Ferro ( ) Aço ( ) Alumínio ( ) Fibra de Vidro		
Quantidade de Gelo Embarcado (kg):		Quantidade de combustível gasto na viagem (l):	
Quantidade de Gelo Desembarcado (kg):		Preço do combustível (R\$/l):	
Conservação do Pescado	( ) Gelo ( ) Caixa de isopor c/gelo ( ) Gelo c/sistema de refrigeração ( ) nenhum		

Método de Pesca			
Espinhel horizontal de superfície	Boiado ( ) Meia água ( )	Dias de Viagem:	Nº Tripulantes:
Espinhel horizontal de fundo	( )	Dias Efetivos de Pesca:	Nº de anzóis:
Latitude / Longitude	Horário médio de lançamento	Horário médio de recolhimento	Profundidade de atuação

Comprimento linha principal:	Nº lances por dia:	Quantidade de Zonas de Pesca:	Distância entre a costa e a zona de pesca 1:
Nº Médio de viagens/ano:	Nº lances por viagem de pesca:	Distância entre as Zonas de Pesca	
Distância entre a última zona de pesca e o porto de desembarque:			

Propulsão			
Potência do motor principal (HP)	RPM máxima do motor	Nº médio de horas de quebra do motor	
Fabricante / Modelo do motor principal:			
<b>Motor Auxiliar 1</b>	Elétrico ( ) Hidráulico ( )		
Potência do motor auxiliar (HP)	RPM máxima do motor	Fabricante/Modelo do motor auxiliar 1:	
Pressão (motor hidráulico):		Consumo combustível (l/h):	
<b>Motor Auxiliar 2</b>	Elétrico ( ) Hidráulico ( )		
Potência do motor auxiliar (HP)	RPM máxima do motor	Fabricante/Modelo do motor auxiliar 2:	
Pressão (motor hidráulico):		Consumo combustível (l/h):	
<b>Gerador</b>	Elétrico ( ) Hidráulico ( )		
Quantidade	Potência Gerador auxiliar	Potência Motor	RPM do motor/gerador

Fabricante / Modelo Gerador			
Consumo combustível (litros/hora):			
<b>Sistema de refrigeração do porão</b>	( ) elétrico ( ) hidráulico ( ) mecânico ( ) nenhum		
Fabricante / Modelo			
Compressores (quantidade, tipo, modelo, capacidade, potência)			

<b>Outros consumos de energia: luzes, ar condicionado, geladeira, equipamentos de navegação, bombas, outros</b>		
<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (w)</b>

<b>Perfil Operacional</b>	
<b>Deslocamento Porto - Local de Pesca</b>	
Tempo de ida ao local de pesca (h)	Tempo de funcionamento motor na ida
Velocidade do barco na ida ao local de pesca	RPM motor principal na ida ao local de pesca
RPM motor auxiliar na ida ao local de pesca	Tempo de funcionamento motor auxiliar na ida
RPM motor/gerador na ida:	Tempo de funcionamento do gerador:
Tempo de funcionamento do Sistema de refrigeração:	

<b>Outros consumos de energia: luzes, ar condicionado, geladeira, equipamentos de navegação, bombas, outros</b>			
<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade em funcionamento</b>	<b>Potência (w)</b>	<b>Nº médio de horas de funcionamento no deslocamento</b>

Lançamento do Espinhel			
Tempo do lançamento (h)		Tempo de funcionamento motor no lançamento	
Velocidade do barco no lançamento		RPM motor principal no lançamento	
RPM motor auxiliar no lançamento		Tempo de funcionamento motor auxiliar no lançamento	
RPM motor/gerador no lançamento:		Tempo de funcionamento do gerador:	
Tempo de funcionamento do Sistema de refrigeração:			
Outros consumos de energia: luzes, ar condicionado, geladeira, equipamentos de navegação, bombas, outros			
<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade em funcionamento</b>	<b>Potência (w)</b>	<b>Nº médio de horas de funcionamento no lançamento</b>

<b>Espera</b>
---------------

Tempo de imersão do espinhel (espera)		Tempo de funcionamento motor na espera (h)	
Velocidade do barco na espera		RPM do motor principal na espera	
RPM motor auxiliar na espera		Tempo de funcionamento motor auxiliar na espera	
RPM motor/gerador na espera:		Tempo de funcionamento do gerador:	
Tempo de funcionamento do Sistema de refrigeração:			
<b>Outros consumos de energia: luzes, ar condicionado, geladeira, equipamentos de pesca, navegação, outros</b>			
<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade em funcionamento</b>	<b>Potência (w)</b>	<b>Nº médio de horas de funcionamento na espera</b>

<b>Recolhimento do Espinhel</b>	
Tempo de recolhimento do espinhel	Tempo funcionamento do motor no recolhimento
Velocidade do barco no recolhimento	RPM do motor principal no recolhimento
RPM motor auxiliar no recolhimento	Tempo de funcionamento motor auxiliar no recolhimento
RPM motor/gerador no recolhimento:	Tempo de funcionamento do gerador:

Tempo de funcionamento do Sistema de refrigeração:			
<b>Outros consumos de energia: luzes, ar condicionado, geladeira, equipamentos de pesca, navegação, outros</b>			
Equipamento	Quantidade em funcionamento	Potência (w)	Nº médio de horas de funcionamento no recolhimento

<b>Volta ao porto de desembarque</b>			
Tempo de volta ao porto		RPM do motor principal na volta	
Velocidade do barco na volta		Tempo funcionamento do motor principal na volta	
RPM motor auxiliar na volta		Tempo de funcionamento motor auxiliar na volta	
RPM motor/gerador na volta:		Tempo de funcionamento do gerador:	
Tempo de funcionamento do Sistema de refrigeração:			
<b>Outros consumos de energia: luzes, ar condicionado, geladeira, equipamentos de pesca, navegação, outros</b>			
Equipamento	Quantidade em funcionamento	Potência (w)	Nº médio de horas de funcionamento na volta



## Anexo II - Características dos motores utilizadas para estimar o CEC das embarcações.

**Tabela II.1** - Características dos motores utilizados para estimar o CEC das embarcações.

Motor - Embarcações	Potência (bhp)	RPM <sub>máx</sub>	Motor – Curvas de CEC utilizadas	Potência (bhp)	RPM <sub>máx</sub>
Mercedes	160	2.000	Mercedes OM-366 A	178	2.400
Mercedes 366 - 16/20 - turbinado	208	2.600			
Mercedes 366	140	2.000	Mercedes OM-352	128	2.800
Mercedes 352	120	4.000			
Scania 240	240	2.000	Scania DI 09 070M	250	1.800
Scania 240	240	2.500			
Scania 290	290	2.000	Scania DI 13 080M	300	1.800
Scania	190	2.700	Scania DI 13 081M	220	1.800
Scania 110	110	2.000			
Cummins - série c - 220	220	2.000	Cummins QSB 5.9	225	2.600
Cummins 360	360	2.000	Cummins QSM 11	350	1.800
MWM 229	95	2.500	MWM D-229-06	108,5	2.500
MWM 229 6 cilindros	120	2.500			
MWM 6 cilindros - série 10	180	2.500	MWM 6.10 TCA	192	2.500
MWM 229 6 cilindros	180	2.500			
MWM 6 cilindros - série 10	220	2.500	MWM série 10	215	2.500
MWM 229	290	2.500	MWM série 12	286	2.500
<b>Média</b>	198	2.400	-	223	2.273

## Anexo III – Coeficientes dos polinômios da série de Wageningen

**Tabela III.1** - Coeficientes para o cálculo de Kt.

Coeficientes Kt					
i	$C_{s,t,u,v}$	s(J)	t(P/D)	u( $A_e/A_o$ )	v(Z)
1	0,0088049600	0	0	0	0
2	-0,2045540000	1	0	0	0
3	0,1663510000	0	1	0	0
4	0,1581140000	0	2	0	0
5	-0,1475810000	2	0	1	0
6	-0,4814970000	1	1	1	0
7	0,4154370000	0	2	1	0
8	0,0144043000	0	0	0	1
9	-0,0530054000	2	0	0	1
10	0,0143481000	0	1	0	1
11	0,0606826000	1	1	0	1
12	-0,0125894000	0	0	1	1
13	0,0109689000	1	0	1	1
14	-0,1336980000	0	3	0	0
15	0,0063840700	0	6	0	0
16	-0,0013271800	2	6	0	0
17	0,1684960000	3	0	1	0
18	-0,0507214000	0	0	2	0
19	0,0854559000	2	0	2	0
20	-0,0504475000	3	0	2	0
21	0,0104650000	1	6	2	0
22	-0,0064827200	2	6	2	0
23	-0,0084172800	0	3	0	1
24	0,0168424000	1	3	0	1
25	-0,0010229600	3	3	0	1
26	-0,0317791000	0	3	1	1
27	0,0186040000	1	0	2	1
28	-0,0041079800	0	2	2	1
29	-0,0006068480	0	0	0	2
30	-0,0049819000	1	0	0	2
31	0,0025983000	2	0	0	2
32	-0,0005605280	3	0	0	2
33	-0,0016365200	1	2	0	2
34	-0,0003287870	1	6	0	2
35	0,0001165020	2	6	0	2
36	0,0006909040	0	0	1	2
37	0,0042174900	0	3	1	2
38	0,0000565229	3	6	1	2
39	-0,0014656400	0	3	2	2

**Tabela III.2** - Coeficientes para o cálculo de Kq.

<b>Coeficientes Kq</b>					
<b>i</b>	<b>C<sub>s,t,u,v</sub></b>	<b>s(J)</b>	<b>t(P/D)</b>	<b>u(A<sub>e</sub>/A<sub>o</sub>)</b>	<b>v(Z)</b>
1	0,0037936800	0	0	0	0
2	0,0088652300	2	0	0	0
3	-0,0322410000	1	1	0	0
4	0,0034477800	0	2	0	0
5	-0,0408811000	0	1	1	0
6	-0,1080090000	1	1	1	0
7	-0,0885381000	2	1	1	0
8	0,1885610000	0	2	1	0
9	-0,0037087100	1	0	0	1
10	0,0051369600	0	1	0	1
11	0,0209449000	1	1	0	1
12	0,0047431900	2	1	0	1
13	-0,0072340800	2	0	1	1
14	0,0043838800	1	1	1	1
15	-0,0269403000	0	2	1	1
16	0,0558082000	3	0	1	0
17	0,0161886000	0	3	1	0
18	0,0031808600	1	3	1	0
19	0,0158960000	0	0	2	0
20	0,0471729000	1	0	2	0
21	0,0196283000	3	0	2	0
22	-0,0502782000	0	1	2	0
23	-0,0300550000	3	1	2	0
24	0,0417122000	2	2	2	0
25	-0,0397722000	0	3	2	0
26	-0,0035002400	0	6	2	0
27	-0,0106854000	3	0	0	1
28	0,0011090300	3	3	0	1
29	-0,0003139120	0	6	0	1
30	0,0035985000	3	0	1	1
31	-0,0014212100	0	6	1	1
32	-0,0038363700	1	0	2	1
33	0,0126803000	0	2	2	1
34	-0,0031827800	2	3	2	1
35	0,0033426800	0	6	2	1
36	-0,0018349100	1	1	0	2
37	0,0001124510	3	2	0	2
38	-0,0000297228	3	6	0	2
39	0,0002695510	1	0	1	2
40	0,0008326500	2	0	1	2
41	0,0015533400	0	2	1	2
42	0,0003026830	0	6	1	2
43	-0,0001843000	0	0	2	2
44	-0,0004253990	0	3	2	2
45	0,0000869243	3	3	2	2
46	-0,0004659000	0	6	2	2
47	0,0000554194	1	6	2	2

**Anexo IV - Expressões para correção do efeito do número de Reynolds  
(maiores que  $2 \cdot 10^6$ )**

$$\begin{aligned}\Delta KT = & 0.000353485 - 0.00333758 \cdot AeA0 \cdot J^2 - 0.00478125 \cdot AeA0 \cdot P/D \cdot J \\ & + 0.000257792 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot AeA0 \cdot J^2 + \\ & + 0.0000643192 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot P/D^6 \cdot J^2 + \\ & - 0.0000110636 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot P/D^6 \cdot J^2 + \\ & - 0.0000276305 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z \cdot AeA0 \cdot J^2 + \\ & + 0.0000954 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z \cdot AeA0 \cdot P/D \cdot J + \\ & + 0.0000032049 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z^2 \cdot AeA0 \cdot P/D^3 \cdot J\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta KQ = & -0.000591412 + 0.00696898 \cdot (P/D) - 0.0000666654 \cdot Z \cdot P/D^6 + \\ & + 0.0160818 \cdot AeA0^2 - 0.000938091 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot (P/D) + \\ & - 0.00059593 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot P/D^2 + \\ & + 0.0000782099 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot P/D^2 + \\ & + 0.0000052199 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z \cdot AeA0 \cdot J^2 + \\ & - 0.00000088528 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot Z \cdot AeA0 \cdot P/D \cdot J + \\ & + 0.0000230171 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot Z \cdot P/D^6 + \\ & - 0.00000184341 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot Z \cdot P/D^6 + \\ & - 0.00400252 \cdot (\log Re - 0.301) \cdot AeA0^2 + \\ & + 0.000220915 \cdot (\log Re - 0.301)^2 \cdot AeA0^2\end{aligned}$$

## Anexo V - Pontos retirados do Diagrama de Burril

**Tabela V.1 - Pontos retirados do Diagrama de Burril**

Cavitação 2,5%		Cavitação 5%		Cavitação 10%		Cavitação 20%	
$\sigma(0,7R)$	$\zeta_c$ 2,5%	$\sigma(0,7R)$	$\zeta_c$ 5%	$\sigma(0,7R)$	$\zeta_c$ 10%	$\sigma(0,7R)$	$\zeta_c$ 20%
0,189	0,0739	0,16	0,074	0,14	0,076	0,115	0,08
0,199	0,0779	0,17	0,079	0,145	0,08	0,12	0,086
0,21	0,0819	0,18	0,0858	0,149	0,084	0,125	0,092
0,22	0,086	0,19	0,089	0,16	0,092	0,13	0,096
0,24	0,0937	0,204	0,098	0,165	0,096	0,14	0,107
0,25	0,0964	0,219	0,105	0,17	0,1	0,151	0,12
0,27	0,104	0,239	0,114	0,183	0,11	0,172	0,13
0,29	0,111	0,26	0,122	0,198	0,12	0,18	0,14
0,32	0,12	0,289	0,132	0,209	0,127	0,19	0,156
0,35	0,13	0,31	0,14	0,229	0,14	0,199	0,165
0,39	0,14	0,339	0,15	0,24	0,146	0,22	0,18
0,43	0,149	0,379	0,161	0,26	0,157	0,23	0,189
0,46	0,155	0,41	0,17	0,284	0,17	0,245	0,198
0,498	0,163	0,449	0,18	0,298	0,176	0,259	0,21
0,56	0,175	0,49	0,19	0,329	0,19	0,279	0,224
0,6	0,181	0,539	0,201	0,379	0,21	0,289	0,229
0,64	0,188	0,58	0,209	0,419	0,224	0,299	0,235
0,7	0,197	0,66	0,222	0,47	0,24	0,31	0,24
0,78	0,208	0,72	0,235	0,539	0,26	0,34	0,26
0,82	0,214	0,79	0,249	0,58	0,27	0,359	0,27
0,898	0,224	0,839	0,253	0,66	0,289	0,379	0,28
0,998	0,235	0,94	0,27	0,74	0,303	0,41	0,29
1,1	0,249	0,98	0,278	0,798	0,318	0,45	0,31
1,2	0,258	1,09	0,29	0,86	0,33	0,48	0,32
1,29	0,269	1,16	0,3	0,919	0,34	0,5	0,33
1,39	0,279	1,29	0,312	0,979	0,35	0,56	0,35
1,49	0,286	1,34	0,32	1,09	0,37	0,62	0,37
1,51	0,293	1,43	0,33	1,18	0,382	0,68	0,39